



# **CUANTIFICACIÓN DEL CARBONO ALMACENADO EN LOS SUELOS DEL PARQUE NACIONAL NATURAL LOS NEVADOS.**

## **AUTORES:**

**María Camila Arango Álvarez  
Margarita Atehortúa Barrero**

**Trabajo de grado para optar al título de  
INGENIERÍA AMBIENTAL**

## **DIRECTOR:**

**Ing. Adriana Ma. Quinchía Figueroa PhD.**

**ESCUELA DE INGENIERÍA DE ANTIOQUIA  
INGENIERÍA AMBIENTAL  
ENVIGADO  
2015**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

# CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	10
1. PRELIMINARES.....	13
1.1 Planteamiento del problema .....	13
1.2 Objetivos del proyecto .....	16
1.2.1 Objetivo General.....	16
1.2.2 Objetivos Específicos .....	16
1.3 Marco de referencia.....	16
1.3.1 El suelo. ....	16
1.3.1.1 Materia orgánica. ....	16
1.3.1.2 El cambio del uso de los suelos y el cambio climático.....	20
1.3.2 Sumideros de carbono.....	22
1.3.3 Captura de carbono en suelos.....	23
1.3.4 Páramos.....	24
1.3.5 Procedimientos de muestreo en suelos (NTC 3656).....	25
2. METODOLOGÍA.....	29
2.1 Recopilación de información secundaria .....	29
2.2 Toma de muestras .....	29
2.3 Preparación de muestras .....	30
2.4 Análisis de las muestras.....	30
2.4.1 Análisis Granulométrico (ASTM D 1140 – 00 ASTM D4318-00) .....	30
2.4.2 Determinación de color (ASTM D1535 – Especificación de color por sistema Munsell) .....	31

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

2.4.3	Densidad (Aparente y Real).....	32
2.4.4	pH (ASTM D 4972).....	33
2.4.5	Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC USDA SSL, 1996).....	33
2.4.6	Contenido de materia orgánica del suelo (Método de Walkley Black – ASTM F 1647 - 11). ....	34
3	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	36
3.1	Recopilación de información secundaria .....	36
3.2	Toma de muestras .....	43
3.4	Preparación de las muestras .....	44
3.5	Análisis Granulométrico.....	45
3.6	Color.....	47
3.7	Densidad y porosidad.....	48
3.8	pH.....	50
3.9	Capacidad de intercambio catiónico .....	52
3.10	Carbono Orgánico total y contenido de materia orgánica .....	52
4.	CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES.....	58

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estimaciones del contenido de carbono en la vegetación y los suelos.....	20
Tabla 2. Comparación de Carbono acumulado en diversos ecosistemas tropicales. ....	22
Tabla 3. Resumen de publicaciones relacionadas con la captura de carbono en suelos .	38
Tabla 4. Nomenclatura de muestras a analizar .....	43
Tabla 5. Porcentaje de partículas retenidas en diferentes tamaños de partícula.....	46
Tabla 6. Textura de cada una de las muestras. ....	47
Tabla 7. Color de las muestras de suelo .....	47
Tabla 8. Valores de Densidad aparente.....	48
Tabla 9. Valores de Densidad real.....	49
Tabla 10. Porosidad:.....	49
Tabla 11. Contenido aproximado de Carbono Orgánico en Tonha <sup>-1</sup> .....	55
Tabla 12. Contenidos de materia orgánica.....	56

pág.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. pH de las muestras de suelo a diferentes alturas.....	51
Figura 2. Capacidad de Intercambio Catiónico .....	52
Figura 3. Carbono Orgánico total.....	54
Figura 4. Materia Orgánica en % .....	56

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Diagrama asociado a las consecuencias del cambio climático en los ecosistemas de alta montaña. Tomada de: García Portilla, 2003. ....	13
Ilustración 2. Muestras en proceso de secado al aire; a) muestras entre 2796 y 3091 m.s.n.m; b) muestras de 3569 y 4000 m.s.n.m; c) muestras de 4220 y 4256.....	45
Ilustración 3. Tamizado de la muestra.....	46
Ilustración 4. Prueba de pH. ....	51

pág.

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 Granulometría .....	65
ANEXO 2. Colorimetría.....	83
ANEXO 3. pH .....	84
ANEXO 4. CIC.....	85
ANEXO 5. Determinación de la Materia orgánica .....	86

pág.

## RESUMEN

En la actualidad no se conoce con certeza el potencial de los ecosistemas terrestres como sumideros de carbón. Sin embargo los pocos estudios que se han realizado en su mayoría han sido en suelos agrícolas y forestales, dado esta situación se propone este estudio como punto de partida para obtener información relevante en cuanto a las condiciones de materia orgánica almacenada en 6 cotas de los suelos ubicados en la zona de alta montaña del Parque Natural Nacional “Los Nevados” tomando como referencia 16 muestras de la cuenca alta del río claro a las cuales se les realizó pruebas físicas como: tamizado, textura, color, densidad aparente, densidad real, porosidad y pruebas químicas como: pH, C.I.C, carbono orgánico total, materia orgánica total y carbono almacenado en los suelos. A partir de estos ensayos se pudo determinar las variaciones que presentan los suelos como pH de condiciones moderadas a fuertemente acidas, densidades aparentes por debajo de  $1,4 \text{ gcm}^{-3}$ , valores moderados en la C.I.C, altos contenidos de materia orgánica y altos contenidos de carbono orgánico total almacenado, determinando de esta manera que los suelos ubicados por encima de 4000 m.s.n.m poseen los mayores valores de carbono orgánico almacenado, teniendo como el máximo reportado  $219,14 \text{ Tonha}^{-1}$ , valor que se encuentra por encima de lo obtenido en andisoles colombianos ( $208 \text{ Tonha}^{-1}$ ).

Palabras claves: Carbono orgánico, materia orgánica, paramos, almacenamiento de carbono.



## ABSTRACT

At present it is not known with certainty the potential of terrestrial ecosystems as carbon sinks. But the few studies that have been done have mostly been in agricultural and forest soils, because of that, this study is proposed as a starting point for important information regarding the conditions of organic matter stored in 6 levels of soil located in the high mountain area of National Natural Park "Los Nevados" by reference 16 samples from the upper basin of Rio Claro, who underwent physical testing as screening, texture, color, bulk density, particle density, porosity and chemical tests such as pH, CIC, total organic carbon, total organic matter and carbon stored in soils. From these tests it was determined that variations in soils and moderate pH strongly acidic conditions, bulk densities below  $1.4 \text{ g cm}^{-3}$ , moderate values in the CIC, high in organic matter and high in total organic carbon stored, thereby determining the soils located above 4000 meters have the highest values of stored organic carbon, with the maximum reported  $219,14 \text{ Tonha}^{-1}$ , a value that is higher than obtained in Colombian andisols ( $208 \text{ Tonha}^{-1}$ ).

Keywords: organic carbon, organic matter, stopped, carbon storage.

## INTRODUCCIÓN

Un estudio realizado por la FAO en el año 2002, definió que el desarrollo de la agricultura, tras la Revolución Industrial, disminuyó los balances de carbono en los suelos almacenado durante cientos o miles de años, a menos de la mitad. En muchas de las tierras cultivadas, sobre todo en las regiones de alta montaña, donde las pérdidas de suelo están asociadas a las altas pendientes, esto ha llevado a una reducción de la productividad de la tierra debido a la degradación y al avance de la desertificación.

En Colombia, los trabajos realizados por Ibrahim et al. (2007) y Amézquita (2008) han supuesto un avance en la evaluación del carbono secuestrado en bosques y praderas, llegando a resultados muy alentadores para el país. Además del potencial de estas regiones tropicales como sumideros de carbono, las zonas forestales mantienen una elevada biodiversidad, dada su proximidad al trópico, mientras que, los usos agropastorales mantienen una alta productividad ganadera, de ahí los esfuerzos por mantener estas actividades dirigidas a la sostenibilidad de usos y funciones del suelo.

Colombia es, además, un país que cuenta con numerosos Parques Nacionales Naturales (PNN). Muchos de estos espacios naturales protegidos se encuentran en la alta montaña tropical, por encima de 2.500 m.s.n.m, lo que los hace inhóspitos para asentamientos de las poblaciones humanas. Esto ha contribuido a su preservación, de manera que, hoy en día, se conservan en condiciones naturales. No por ello están exentas del efecto del aumento de temperatura global, producido por el cambio climático, cuyas consecuencias pudieran tener un efecto negativo sobre el balance de carbono, agua y nutrientes de estos ecosistemas.

De hecho, en la última década, se han observado alteraciones naturales sobre el clima, cambios en las temperaturas medias máximas y mínimas, así como en la distribución anual de las precipitaciones. Se cuenta con un registro de alteraciones climáticas en el Parque Nacional Natural Los Nevados (PNNLN) de la Cordillera Central de los Andes Colombianos, donde se ha experimentado un retroceso en el grosor del hielo de los glaciares cuaternarios y se está ocasionando la pérdida de cientos de humedales. Se ha reportado recientemente

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

que la extensión de las turberas se ha reducido sensiblemente y se ha constatado la sequía de algunas de sus lagunas en menos de 20 años (Ruiz, 2011).

Los estudios en cambio climático temen que parte de los sumideros de carbono (C) de los páramos andinos, como las turberas considerados enclaves RAMSAR puedan invertir su función ambiental como reservorio de C para convertirse en focos rojos como agentes emisores de gases invernaderos, no sólo de CO<sub>2</sub> sino de metano (CH<sub>4</sub>), el cual contribuye aproximadamente con el 15% del calentamiento global (Ruíz, 2011).

La mayoría de los artículos científicos consideran que los humedales constituyen la principal fuente de emisión natural de metano a la atmósfera, contribuyendo con una emisión anual de 100–200 Tg, el 30% de la emisión total de metano (Christiansen & Cox, 1995). De hecho, en algunas zonas de los páramos andinos colombianos, esta situación ya se está produciendo. Por ello está en boca de todos los medios la actual pérdida de C y posible incremento de las temperaturas en el PNN Los Nevados.

Hasta la fecha, no se han realizado evaluaciones ni se ha tenido en cuenta que los suelos del PNN Los Nevados, con valores promedios de más del 20% en C orgánico de suelo (resultados de estudios preliminares), podrían estar almacenando una gran cantidad de C orgánico, protegido de las variantes oscilaciones atmosféricas, principalmente en lugares con escasa intervención humana, donde se conservan comunidades vegetales con un alto número de rarezas y endemismos.

Por otro lado, hay que considerar estudios de suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas, los cuales presentan como característica principal la acumulación de grandes cantidades de MOS, de difícil descomposición y poco sensibles a la pérdida de C nuevamente hacia la atmósfera (Dahlgren et al., 2004). Por lo anterior, estos suelos se consideran a nivel internacional como potenciales sumideros de C, debido principalmente a la formación de complejos órgano-minerales y aluminio-humus que protegen la MOS del ataque de enzimas microbianas.

Además, en las regiones volcánicas, es frecuente la formación de capas o estratos, de diferente origen o naturaleza, como consecuencia de las sucesivas erupciones volcánicas.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

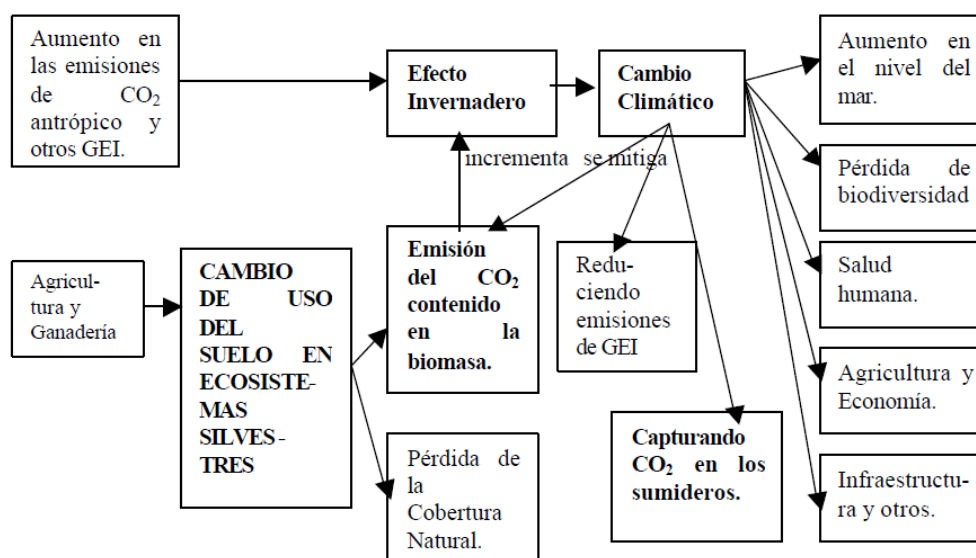
Estas nuevas deposiciones generan un rejuvenecimiento de todo el perfil de suelo, pudiéndose almacenar gran parte del C de suelo en horizontes sub-superficiales, lo cual tendría como ventaja su protección frente a los cambios de uso y manejo, e incluso, a cambios climáticos.

Dada esta situación, es importante determinar la capacidad que presentan los suelos de páramo de almacenar permanentemente el C y avanzar en el conocimiento de la composición del humus y del complejo de los coloides orgánicos e inorgánicos humus-arcillas, fundamental para elaborar recomendaciones que repercutan en la conservación y/o en el aumento de la productividad del sistema, y el mantenimiento de niveles aceptables de captura de C en el suelo (Almendros et al., 2000).

# 1. PRELIMINARES

## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su Artículo 1, define el cambio climático como: "cambio del clima atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial, y que viene a añadirse a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables". La CMNUCC hace una comparación entre el cambio climático, que se produce debido a las actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera, y la variabilidad del clima, atribuible a causas naturales (Naciones Unidas, 1992).



**Ilustración 1. Diagrama asociado a las consecuencias del cambio climático en los ecosistemas de alta montaña.**  
Tomada de: García Portilla, 2003.

Se puede evidenciar que el aumento de emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero (GEI), así como actividades de agricultura y ganadería extensiva, han causado el desequilibrio del efecto invernadero, teniendo como resultado el cambio climático que a su vez ha producido diversas consecuencias como se muestra en la Ilustración 1. Debido al desarrollo del sector de la agricultura y ganadería en Colombia, se han generado cambios

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

del uso del suelo en ecosistemas silvestres provocando pérdida de la cobertura natural y propagación del CO<sub>2</sub> contenido en la biomasa y en la superficie del suelo, lo que incrementa de manera significativa el efecto invernadero, trayendo como resultado un efecto sobre el cambio climático (García Portilla, 2003).

Uno de los ecosistemas más afectados por el cambio del uso del suelo ha sido los de alta montaña, los cuales se han visto perjudicados por el cambio climático debido a un aumento en la temperatura entre 2.5 y 3°C y la reducción de la precipitación entre un 10 y 20%; generando un ascenso de los límites de las zonas bioclimáticas entre unos 400 y 500 metros (IDEAM, Ministerio del Medio Ambiente & Programa de las Naciones Unidas, 2002); esta variación aumenta la vulnerabilidad de las regiones de alta montaña frente a la conservación pues puede reflejarse en una disminución de la diversidad biológica que alberga (García Portilla, 2003).

Dado que las zonas de alta montaña y en especial los páramos presentan condiciones importantes como bajas temperaturas (<10°C) y cotas por encima de los 3000 m.s.n.m (Cabrera & Hernández, 2010), sus tasas de mineralización y reciclaje de nutrientes provenientes de la materia orgánica que llega a los suelos a partir de la biomasa, son lentas con respecto a los otros ecosistemas; proceso que favorece una continua absorción y acumulación de carbono orgánico. La alta capacidad de los suelos de los páramos para retener agua favorece además, la prevalencia de condiciones anaeróbicas, lo que fija el carbono en el suelo por largos periodos (García Portilla, 2003).

La materia orgánica presente en los suelos (MOS), procede de la transformación de los residuos de plantas, animales y sustancias húmicas sintetizadas por vía química y biológica, representa el principal componente de las reservas de carbono en la corteza terrestre. Su contenido en la vegetación de alta montaña se ha estimado como 1450x10<sup>9</sup> toneladas de C, donde excede en un factor de 2 a 3 a la cantidad almacenada en la vegetación (Hayes & Clapp, 2001; Hayes & Malcolm, 2001).

El contenido de MOS, y por lo tanto su contenido de carbono orgánico ha sido sujeto a múltiples evaluaciones en los últimos años desde el punto de vista del potencial secuestro

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

de C del suelo. En efecto, el contenido en MOS constituye un parámetro clave a considerar durante las prácticas de manejo que persiguen revertir la degradación de la tierra debida a la deforestación y al mal uso y manejo de los suelos sobre todo en el trópico, así como en el marco del uso sostenible de los recursos terrestres y de la mitigación del cambio climático.

Los suelos pertenecientes a los ecosistemas de alta montaña tropical han sido reconocidos por capturar importantes cantidades de carbono (Peña, Zúñiga & Peña, 2011), debido a sus condiciones de temperatura, humedad y presión atmosférica, que llevan a procesos de mineralización lentos de la materia orgánica, lo cual aumenta el tiempo de retención y la concentración de este elemento. Así mismo, dichos ecosistemas pueden llegar a convertirse en fuentes de emisiones de CO<sub>2</sub> si su cobertura vegetal desaparece debido a procesos antrópicos o a cambios en el clima que afectarían la capacidad de almacenamiento de C en los suelos y podría generar un aumento en la reemisión de éste en forma de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> por descomposición de la misma materia orgánica (Peña, Zúñiga & Peña, 2011).

Actualmente existe una preocupación sobre la capacidad potencial de varios ecosistemas terrestres de actuar como sumideros de carbono. Sin embargo, la mayoría de los estudios se han realizado en sistemas forestales y agrícolas y se ha relegado un poco la función de los suelos. Dada esta condición y considerando la importancia que el tema representa, así como la poca información con la que se cuenta a nivel nacional, se propone este estudio como punto de partida para obtener información relevante en cuanto a las condiciones de materia orgánica almacenada en 6 cotas de los suelos ubicados en la zona de alta montaña del Parque Natural Nacional Los Nevados (FAO, 2002; Ordóñez & Masera, 2001).

La información recopilada en este trabajo, formará parte de un macro proyecto en el cual se estudiarán las características químicas y físicas de la materia orgánica almacenada en los suelos ubicados en zonas de páramo tropical y serán comparadas con datos de andisoles obtenidos en zonas templadas.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

## **1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **1.2.1 Objetivo General**

Estimar la cantidad de carbono almacenado en suelos de alta montaña pertenecientes al Parque Nacional Natural Los Nevados.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Tomar muestras de materiales pertenecientes a horizontes O y A, de suelos denominados andisoles ubicados en el Parque Nacional Natural Los Nevados a diferentes alturas sobre el nivel del mar.
- Aplicar metodologías físicas y químicas para el análisis de la materia orgánica y carbono almacenado en los suelos muestreados.
- Comparar los datos obtenidos en este proyecto y los reportados en otros estudios similares en zonas templadas.

## **1.3 MARCO DE REFERENCIA**

### **1.3.1 El suelo.**

#### **1.3.1.1 Materia orgánica.**

La materia orgánica del suelo (MOS) procede de la transformación de los residuos de plantas y de animales y de la biomasa microbiana, así como de la ruptura y nueva condensación de las moléculas provenientes de la degradación de estos materiales. El carbono orgánico almacenado en el suelo es, aproximadamente, tres veces superior al carbono de la biomasa vegetal del planeta y supone más del doble del carbono que se encuentra en la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub> (Eswaran et al., 1993).

La acumulación y la descomposición de la MOS constituyen procesos importantes en el ciclo edáfico del carbono: se estima que cerca del 0,7% de la producción primaria neta anual terrestre es secuestrada en forma de sustancias húmicas refractarias (Hayes & Clapp, 2001, Hayes & Malcolm, 2001).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



La MOS se considera constituida por una mezcla compleja de compuestos de bajo, medio y alto peso molecular, y a menudo se entiende como sinónimo de humus, siendo éste el componente del suelo más complejo, dinámico y activo. Su importancia reside en su contribución al desarrollo de las plantas por su influencia en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos (Wild, 1992).

El contenido de MOS, y por lo tanto el carbono orgánico, ha sido objeto de múltiples evaluaciones en los últimos años desde el punto de vista de su potencial como sumidero de carbono. En efecto, el contenido en MOS constituye un parámetro clave a considerar durante las prácticas de manejo que buscan, entre otros objetivos, evitar la degradación de la tierra debida a las malas prácticas durante la deforestación y manejo agrónomo de los suelos. Esto es más importante en las regiones tropicales y subtropicales, así como en el marco del uso sostenible de los recursos terrestres y de la mitigación del cambio climático.

La MOS incide en muchas de las funciones y procesos del suelo (Schnitzer, 1978; Tan, 1998; Porta et al., 2003), además constituye a su vez la fuente y el sumidero de nutrientes para las plantas, así como un sustrato energético para los organismos del suelo. La MOS promueve la formación de los macroagregados y microagregados que ayudan a la infiltración del agua y del aire, y los estabiliza. En efecto, la interrelación positiva entre la MOS y la agregación del suelo, determina beneficios importantes tanto para la infiltración del agua como del aire, la erosionabilidad del suelo y la conservación de la MOS y los nutrientes. Mejora la retención de agua y el rango de agua biológica del suelo. Influye en otros procesos físicos como la friabilidad y compactación. Ejerce su poder de amortiguación en la eficacia y disipación de los pesticidas que se aplican en los agroecosistemas (Tisdall & Oades, 1982).

La ruptura de los agregados facilita la liberación de materia orgánica lábil y el aumento de su capacidad de descomposición por los microorganismos. El aumento en la descomposición de la MOS en los edafosistemas también determina la pérdida que, como fuente de energía, desempeña la MOS para los microorganismos, disminuye su cantidad y por lo tanto su capacidad de producir agentes cementantes de los agregados. La teoría de la jerarquía de la agregación ha sido utilizada ampliamente por muchos autores para

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

explicar la correlación entre la reducción de la agregación y la pérdida de la MOS por el laboreo. Sin embargo, poco se ha investigado con respecto a ecosistemas naturales o agroforestales. Por lo tanto, la productividad del suelo dentro de una infraestructura de manejo sostenible depende en gran parte de la calidad y cantidad de MOS que contiene (Duxbury, 1995).

Los procesos por los cuales la MOS se enlaza a las partículas del suelo mediante interacciones de diferente estabilidad que involucran interacciones físicas y químicas, varían en función de sus características moleculares que se reflejan sobre todo en el grado de maduración de la MOS de cada suelo. La actividad biológica produce una gran variedad de exudados de las raíces y los microorganismos liberan diversos productos orgánicos de muy diferente composición y pesos moleculares. Todos estos compuestos interactúan con las partículas minerales, las cuales también varían en tamaño, forma, cristalinidad y carga eléctrica (Emerson et al., 1986).

Las sustancias húmicas comprenden del 65 al 80% de la MOS de los suelos minerales. Si bien no ha sido posible describir las sustancias húmicas por una estructura química definida, en la actualidad se han desarrollado modelos estructurales de los tipos de grupos funcionales que son comunes en estas macromoléculas. En teoría, su estructura macromolecular consiste en unidades constitucionales heterocíclicas, quinónicas o fenólicas que están condensados al azar o enlazadas a estructuras alifáticas, glucosídicas, peptídicas o lipídicas menos condensadas, así como grupos funcionales químicamente activos: carboxílicos, hidroxilos fenólicos y alcohólicos, carbonilos, etc, que confieren a las macromoléculas húmicas su carácter ácido (Senesi & Loffredo, 1999).

El fraccionamiento secuencial de la MOS se basa generalmente en su solubilidad diferencial en reactivos alcalinos y su precipitación en medios ácidos, las fracciones de MOS pueden ser separadas y cada una presenta distintas características físicas y químicas con una función particular en el ecosistema, tales fracciones se dividen en: materia orgánica libre, ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) y huminas. La materia orgánica libre la constituyen tejidos y compuestos orgánicos de naturaleza conocida en diversas fases de descomposición, sin enlaces físicos fuertes con otros componentes del suelo. Los AF son

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

coloides orgánicos de peso molecular relativamente bajo (2,000 a 10,000 D) y altos estados de oxidación debido a la presencia de radicales activos que desarrollan cargas negativas entre 800–1400  $\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ . Su relativo bajo peso molecular y la gran cantidad de radicales disponibles en los AF, les confieren un comportamiento como la fracción más activa y móvil del humus del suelo.

Los AH son coloides compuestos por macromoléculas heteropolicondensadas de mayor peso molecular (10,000 a 300,000 D) con menor cantidad de radicales activos con cargas negativas que van de 300 a 550  $\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ , están constituidos principalmente por moléculas aromáticas, estructuras alquílicas lineales y ramificadas. Las huminas son moléculas de C muy estable que permanecen fuertemente unidas a las arcillas y metales del suelo (Stevenson, 1999; Rice & McCarthy, 1988.). Los AH y las huminas conforman la fracción estructuralmente más estable del C orgánico del suelo, por lo que tienen bajas tasas de biodegradación con tiempos de residencia media de 15 a 4000 años (Stevenson, 1999).

Gran parte de su estabilidad en los ecosistemas se debe a la cubierta vegetal y al manejo de los cultivos. Sin embargo, ante situaciones de degradación del medio físico y químico, su conservación dependerá en gran medida de la estabilidad estructural de los horizontes orgánicos con relación a la concentración y propiedades coloidales del humus y, fundamentalmente al potencial biogeoquímico del suelo, que viene dado por la capacidad de los constituyentes del sistema trófico (en particular, del tipo de restos vegetales y de la actividad biológica de los microorganismos) de regenerar en corto plazo los horizontes orgánicos mediante mecanismos que se traduzcan en un balance positivo humificación/biodegradación, que caracteriza a los suelos que actúan como sumideros activos de C.

Mantener la biomasa estable depende de las reacciones metabólicas efectuadas por las enzimas, por eso evaluar la biomasa microbiana y actividad enzimática y su variación en el tiempo proporciona información valiosa sobre las funciones del ecosistema. La eficiencia de un microorganismo es la relación entre el C incorporado dentro de su citoplasma y el contenido inicial de C en el sustrato o suelo. La eficiencia depende del tipo de microorganismos, habiéndose encontrado una mayor eficiencia en hongos (de 35 a 55%),

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

baja en bacterias aerobias (-10%) y muy baja en bacterias anaerobias (2 a 5%) (Davet, 2004).

La facilidad con que se descompone el sustrato se puede correlacionar con los valores de actividad enzimática, además depende de la relación C/N y de las formas de N y C, el C de celulosas no es fácilmente disponible e hidrolizable como el de azúcares o pectinas (Davet, 2004).

### **1.3.1.2 El cambio del uso de los suelos y el cambio climático.**

Las actividades del uso del suelo son atribuidas al cambio climático, y el uso del suelo se puede ver perjudicado por el cambio climático, por ello si se emplean estrategias aptas del uso del suelo se podría disminuir el fenómeno. A nivel global, se evidencia que el cambio del uso del suelo contribuye con un 12 % al calentamiento global y, a nivel nacional contribuye con un 66.6 % en las emisiones domesticas totales de GEI (Garcia Portilla, 2003).

A pesar de que el contenido de carbono en los suelos es el resultado de miles de años de Producción Primaria Neta, se tiene desconocimiento de la cantidad de carbono presente en todos los suelos del mundo, Sin embargo en los estudios realizados se ha podido evidenciar que los suelos retienen 2 o 3 veces más carbono que la vegetación (Garcia Portilla, 2003).

A continuación se presentara una tabla en la que se expone el contenido global de carbono en la vegetación y suelos de los biomas más representativos.

**Tabla 1. Estimaciones del contenido de carbono en la vegetación y los suelos.**

Contenido global de carbono (Gt C)				
Bioma	Área (10 <sup>6</sup> km <sup>2</sup> )	Vegetación	Suelos	Total
Bosques ecuatoriales	17.6	212	216	428

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Bosques temperados	10.4	59	100	159
Bosques boreales	13.7	88	471	559
Sabanas ecuatoriales	22.5	66	264	330
Pastizales temperados	12.5	9	295	304
Desiertos y semidesiertos	30.0	8	191	199
Tundra	9.5	6	121	127
Humedales	3.5	15	225	240
Cultivos	16.0	3	128	131
Total	135.6	466	2011	2477

---

Tomada de: García Portilla, 2003.

Debido a que los suelos retienen de manera significativa el carbono, se puede afirmar que la materia orgánica de estos es potencialmente la fuente más peligrosa de CO<sub>2</sub> para el calentamiento global, aparte del carbono procedente de los combustibles fósiles. De esta manera se puede constatar que si no se tiene un uso adecuado de los suelos, se puede generar un descenso anual de 0,15% de carbono orgánico del suelo en todo el mundo o un descenso del 5% en C fijado por fotosíntesis, doblando el incremento anual actual de CO<sub>2</sub> atmosférico (Garcia Portilla, 2003).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

### 1.3.2 Sumideros de carbono

Un sumidero es “cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorbe un gas de efecto invernadero, un aerosol o precursor de un gas de efecto invernadero de la atmósfera” (Naciones Unidas, 1992).

Los ecosistemas terrestres y el mar son los principales sumideros de gases de efecto invernadero de la biosfera y absorben primordialmente CO<sub>2</sub> de la atmósfera. La función del proceso conlleva en un primer lugar a absorber un GEI y posteriormente a almacenarlo. El carbono que se encuentra en la biosfera es distribuido entre los océanos, las reservas geológicas y los ecosistemas terrestres. En estos intercambios de carbono la actividad humana tiene gran influencia (Naciones Unidas, 1992).

Según estudios realizados se ha podido documentar que los ecosistemas de alta montaña son capaces de almacenar más carbono que la selva tropical, esto pasa si únicamente se considera el suelo (García Portilla, 2003).

En la siguiente tabla se presentara la comparación de los ecosistemas de páramo y la selva tropical.

**Tabla 2. Comparación de Carbono acumulado en diversos ecosistemas tropicales.**

Comportamiento	Ton C/ha <sup>10</sup>	
	Páramo	Selva tropical
Vegetación	20	250
Suelo	1700	50
Total	1720	300

Tomada de: García Portilla, 2003.

Debido a las bajas temperaturas y la alta capacidad de los suelos para retener agua, los ecosistemas de alta montaña obtienen bajas tasas de mineralización y reciclaje de nutrientes, permitiendo de esta manera que se presente una lenta pero continua absorción

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

neta de CO<sub>2</sub> atmosférico que es almacenado como parte de la materia orgánica en sus suelos de características histosólicas. Además, dada la alta retención de agua se permite que prevalezca las condiciones anaeróbicas durante largos periodos del año (Garcia Portilla, 2003).

### **1.3.3 Captura de carbono en suelos**

#### **○ Aspectos generales**

En los ecosistemas terrestres, el proceso de retención y emisión del carbono constituye un sistema de tres reservorios, vegetación, materia en descomposición y suelos, los cuales tienen diferentes tiempos de residencia y flujos asociados (De Petre et al., n.d.).

#### **○ Procesos de transformación**

La acumulación de carbono en la biomasa y en los suelos se genera a partir de la fotosíntesis y de la respiración generando que se considere que los suelos tienen tres veces más posibilidad de retener carbono orgánico que la biomasa vegetal y el doble de contenido de carbono en la atmósfera. Esta captura depende de las características de los ecosistemas, pues sus tiempos de recopilación son diferentes debido al pH, temperatura y humedad (Garcia Portilla, 2003).

Partiendo de todo lo anterior, otra forma de reducir la emisión de carbono, es aumentar la tasa de captura de este mediante sumideros. A pesar de ser todos sumideros, el protocolo de Kioto decidió que los océanos no se contaran como tal, ya que es muy difícil de cuantificar (González et al., 2005).

Varias investigaciones han encontrado que la cantidad de carbono almacenado en los suelos como materia orgánica es de 1421 kg a nivel mundial (De Petre et al., n.d.). De igual manera hay una cantidad de carbono que se almacena en los bosques y se encuentra en los suelos de estos reteniendo entre 1.5 (US Environmental Protection Agency) y 2.5 (IPCC et al., 1994) veces más, generando que el incremento de carbono tenga mayor alcance en los suelos de bosques que en la vegetación (García Veléz, 2012).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

### **1.3.4 Páramos**

El páramo es un conjunto de ecosistemas ubicados en la región tropical del continente americano, y una singular característica de estos es la alta emisión solar y baja temperatura, lo que los somete a cambios climáticos frecuentes, prácticamente diario (Castillo, 2006).

Los páramos están ubicados alrededor de 3000-3500 m.s.n.m de la altitud de los bosques y 5000 m.s.n.m de las nieves perpetuas son propensos a la formación de suelos (superficiales y compactos) derivados de cenizas volcánicas, debido a los cambios climáticos que se presentan diariamente además de la niebla (Ramírez, 2009).

Existen criterios para dividir los pisos del páramo en 3 subpisos, uno de estos es definir las zonas dependiendo de la cantidad y abundancia de las diferentes clases de vegetación: el subpáramo, está delimitado por la vegetación arbustiva desde los 3200 hasta los 3600 m.s.n.m; el páramo, está delimitado por gramíneas y espeletias desde la vegetación arbustiva hasta los 4100 m.s.n.m y el superpáramo, está delimitado por la vegetación rupícola y suelo desnudo por encima de los 4100 m.s.n.m.

En estos suelos abunda la materia orgánica con bajos niveles de descomposición y elevado nivel de basicidad. Las bajas temperaturas y alta humedad frenan la descomposición, por lo que se acumula gran cantidad de materia orgánica lo que promueve un alto depósito de carbono por hectárea (Reyes Bonilla, 2010).

El páramo es estimado como un recolector y moderador de la salida de agua, en lugar de considerarse como un productor. Lo anterior se atribuye a que los suelos volcánicos del páramo están compuestos por aluminio, el cual se mezcla con la materia orgánica y juntos generan pequeñas cavidades de lava con alta resistencia a la desintegración por la fauna del suelo. Dichas cavidades retienen agua por un largo espacio de tiempo y la liberan pausada y continuamente (Mecanismo de información de Páramos, 2010).

Los suelos de los páramos son ricos en materia orgánica generando alta acidez y baja descomposición. El bajo nivel de descomposición se da debido a las bajas temperaturas y las altas humedades que existen en los páramos, generando que haya una gran retención

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



de materia orgánica. Es por esto que la cantidad de carbono almacenado en una hectárea de páramo es alta (Mecanismo de información de Páramos, 2010).

Finalizando, es importante mencionar la debilidad e ineficiencia de este ecosistema para recuperarse de las perturbaciones, debido al lento crecimiento de sus plantas, ocasionado por las altas radiaciones solares; pero también hay que recordar que es un ecosistema con gran biodiversidad y exclusiva variedad de flora y fauna (Ramírez, 2009).

Actualmente, de los más de 46000 Km<sup>2</sup> de superficie total de páramos Andinos, en Colombia se cuenta con 14086 km<sup>2</sup> (Mecanismo de información de Páramos, 2010).

### 1.3.5 Procedimientos de muestreo en suelos (NTC 3656)

- **Toma de muestras.**

#### ⇒ **Muestras Alteradas:**

El proceso de muestreo debe efectuarse según el fin que se persiga. Normalmente la recuperación se puede hacer de dos maneras diferentes:

*Muestras obtenidas de sondeo a cielo abierto:* Generalmente son excavaciones que se realizan para permitir la exposición de la configuración del terreno. El procedimiento para la recuperación es el siguiente:

- Se retira la primera capa que se encuentra en el suelo y se deposita aparte, en el proceso de muestreo nunca se desecha ni se contamina con la que se encuentra más abajo. Esta primera capa es de espesores variables, de color oscuro y olor a materia orgánica, es sobre la cual se desarrolla la vida, esta capa sirve de nutrientes a las plantas y de hogar a muchos animales. En los proyectos para el desarrollo de obras civiles esta primera capa se le conoce comúnmente como “capa estéril” debido a que no aporta nada al desarrollo del proyecto, pero en casos donde el objetivo del trabajo son procesos de recuperación de suelos o desarrollo de zonas de cultivo esta es la capa más importante a estudiar.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Se toma muestras individuales de cada una de las capas a estudiar, este proceso se lleva a cabo con ayuda de palas, cuchillos, barras, siempre procurando no contaminar las capas entre sí.
- Las muestras son almacenadas en bolsas o recipientes cerrados, debidamente rotulados que permitan la plena identificación de la muestra. Posteriormente son enviados al laboratorio.
- Es común que en vez de tomar muestras individuales se requieran muestras integrales, o sea de todo el perfil de suelo observado, para ello es necesario almacenar en un solo recipiente la muestra tomada de todo el perfil. En cualquiera de los casos es necesario tapar la excavación realizada una vez finalice el proceso, dejando siempre para ubicar el suelo orgánico en la superficie.

***Muestreo por barrenos:*** Es muy común que en vez de realizar una excavación, se realicen pequeñas perforaciones con ayuda de barrenos, el procedimiento es el siguiente:

- Con el barreno se avanza a lo largo del terreno extrayendo el suelo arrancado del perfil.
- Se separa en montículos el material retirado, separándolos a medida que se observen cambios en el material extraído.
- Los montículos se almacenan en bolsas o recipientes cerrados y rotulados, para luego ser enviados al laboratorio.
- Si el objetivo es recuperar muestras integrales, se deposita todo en un solo montículo y es este el que se guarda y envía al laboratorio.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



## **Recolección de muestras inalteradas:**

El caso más simple corresponde al de cortar un determinado trozo del suelo deseado cubriéndolo con parafina para evitar pérdidas de humedad y empacándolo debidamente para enviarlo al laboratorio. El proceso para obtener este tipo de muestras es el siguiente:

- Se limpia y pule la superficie del terreno y se marca el contorno del trozo.
- Se excava una zanja alrededor del trozo deseado.
- Se ahonda la excavación y se cortan los lados del trozo empleando un cuchillo de hoja delgada.
- Una vez tallada la muestra, se corta el trozo y se retira del hoyo. La cara del trozo que corresponda al nivel del terreno se marca con una señal cualquiera para conocer la posición que ocupaba en el terreno. Luego se aplican dos o tres capas de parafina caliente, se rotula y se envía al laboratorio.
- Si la muestra no va a ser usada pronto, necesita una protección adicional además de las capas de parafina. Esta protección consiste en envolver la muestra en una tela blanda, amarrándola con un cordel, hecho esto se sumerge la muestra entera en parafina en repetidas ocasiones, de tal manera que se alcance un espesor mínimo de 3 mm, suficiente para garantizar su impermeabilidad.
- En algunas ocasiones es conveniente además, empacar la muestra en una caja de madera para transportarla al laboratorio.

La excavación a cielo abierto brinda siempre una información correcta hasta donde llega, pues permite la inspección visual de los estratos del suelo, sin embargo en muchas ocasiones se requiere estudiar el suelo a profundidades mayores que las que pueden ser alcanzadas satisfactoriamente por excavaciones a cielo abierto, en estos casos es conveniente realizar perforaciones de profundidad. Estas perforaciones se pueden hacer

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

mediante el uso de barrenas hasta llegar al estrato requerido y de allí sacar con un muestreador especial la muestra inalterada.

Las barrenas pueden ser de diferentes tipos, la mayoría de ellas son relativamente cortas variando fácilmente su tamaño. Estas barrenas se hincan por rotación o ejerciendo una presión constante para facilitar su entrada. Una vez se ha llegado al sitio de interés, uno de los equipos más sencillos y eficientes para extraer la muestra es el tubo Shelby, que consiste en un tubo metálico de paredes delgadas con un extremo afilado, este borde tiene un diámetro ligeramente menor que el interior del tubo, garantizando que la muestra pueda deslizarse libremente dentro sin fricción alguna, la parte superior posee la facilidad de implementar una válvula que evita que la muestra se salga cuando se retira el tubo del terreno.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

## **2. METODOLOGÍA**

### **2.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA**

La recopilación de información secundaria, se realizó a lo largo de todo el proyecto, considerando las bases de datos disponibles y en especial se tuvo en cuenta los temas relevantes de los estudios llevados a cabo en donde se verifican los procesos de retención del carbono en suelos que sustentan desde cultivos hasta suelos forestales, tanto en zonas templadas como en regiones tropicales. .

Para contar con la información de una forma ordenada, se elaboró una tabla resumen, donde se consideraron aspectos relevantes para el desarrollo de este trabajo,

### **2.2 TOMA DE MUESTRAS**

Para determinar los contenidos actuales de materia orgánica en la zonas de estudio que fue la cuenca del Río Claro, perteneciente al municipio de Caldas y ubicada en terrenos del Parque Natural Nacional Los Nevados, se tomaron muestras a diferentes alturas, 2796, 3000, 3500, 4000, 4420 y 4456 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m); cada altura fue denominada con la letra N (Nivel) y se consideraron desde 1 hasta 6 de Niveles, tomando como puntos prioritarios, aquellos donde se encuentran ubicados los sensores que la EIA tiene instalados desde hace aproximadamente 5 años, con el proyecto de *Long-term monitoring in high mountain ecosystems of the tropical Andes: a multi-tiered integrated approach*, dirigido por el Dr. Carlos Daniel Ruiz Carrascal.

Las muestras de suelo se tomaron considerando el depósito de ceniza volcánica como nivel de referencia y se nombraron las muestras así: O para las muestras tomadas del horizonte orgánico; A1 aquellas muestras tomadas sobre la depositación de ceniza volcánica y A2 para muestras tomadas por debajo del horizonte de la ceniza volcánica. en cada punto se extrajo un promedio entre 500 g y 1000 g y se almacenaron en bolsas plásticas (previamente marcadas) para evitar pérdidas de humedad, se transportaron directo al

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

laboratorio de suelos de la EIA, donde se mantuvieron refrigeradas a 4°C hasta su procesamiento.

## **2.3 PREPARACIÓN DE MUESTRAS**

Las muestras que llegaron al laboratorio se almacenaron en nevera a 4°C, para evitar cambios bruscos de temperatura y activaciones microbianas pudieran interferir con los contenidos de materia orgánica.

Se tomó una sub-muestra de 250 g y se secó al aire, se trituyó y se pasó por malla N°. 40 (0,425 mm). Este material se almacenó en bolsas con sello hermético para posteriores análisis.

## **2.4 ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS**

Para llevar a cabo los análisis, se tomaron las muestras tamizadas por malla N°. 40 y se determinó el contenido de humedad inicial, pH, color (tabla Munshell), Densidad aparente, densidad real, porosidad, contenido de materia orgánica total (Walkley Black), CIC (USDA (SSL, 1996), y textura (ASTM D 1140 – 00 ASTM D4318-00).

### **2.4.1 Análisis Granulométrico (ASTM D 1140 – 00 ASTM D4318-00)**

Determinación de textura por mallas:

- Se separa la porción de la muestra a analizar y se determina su peso.
- Se disponen las mallas en orden ascendente de menor a mayor número de malla (o sea de mayor a menor abertura), ubicando además la tapa y el fondo.
- El material es depositado de tal forma que pase por todas las mallas, generando en ellos movimiento lateral y vertical que faciliten la circulación de la muestra, esta agitación puede desarrollarse de forma manual o mecánica.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Una vez finalizado el proceso de agitación, se retira el contenido de cada malla y se determina el peso del material retenido en cada uno de los tamices. Al final la sumatoria del material retenido en cada uno de los tamices debe ser igual a la usada originalmente en el proceso de tamizado.

Análisis granulométrico – Procedimiento por hidrómetro:

- De la muestra a estudiar, se separan 50g aproximadamente pasa malla No. 200, los cuales se ponen en 125 ml. de floculante durante 24 horas.
- Al final del periodo de suspensión, se dispersa la solución traspasándola a un recipiente adecuado y llevándola a agitación con ayuda de una batidora.
- Inmediatamente después del proceso de dispersión, trasfiera la suspensión a la jarra sedimentadora y adicione agua hasta completar un litro.
- Paralelamente se debe haber preparado en otra jarra sedimentadora, un litro de solución con la misma cantidad de defloculante (125ml).
- 3.2.5. Con la ayuda de un tapón, se agita la solución por espacio de aproximadamente 1 minuto, al cabo del cual se descarga la jarra sobre una superficie adecuada.
- Inmediatamente se introduce el hidrómetro dentro de la solución que contiene la muestra de estudio, y se empieza a tomar lecturas con intervalos de tiempo definidos: 30", 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60 min, 2, 4, 8, 16, 24 horas. Entre lectura y lectura se saca lentamente el densímetro de la suspensión, además se verifican permanentemente los valores de temperatura y corrección de ceros.

#### **2.4.2 Determinación de color (ASTM D1535 – Especificación de color por sistema Munsell)**

Para la identificación del color se realiza una comparación con colores patrones que existen para tal fin, en este proyecto se empleó la comparación con la tabla de colores de Munsell para suelos.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

El sistema Munsell de orden de color, tiene 3 cualidades o atributos: matiz, valor e intensidad. Se establecen escalas numéricas con pasos visualmente uniformes para cada uno de los atributos, el color es entonces identificado por su matiz, valor e intensidad, que cuentan con los símbolos H para el matiz, V para el valor y C para la intensidad.

Matiz es el atributo del color por el cual podemos distinguir entre rojo y verde, azul y amarillo, etc. Munsell tiene como matices principales el rojo, amarillo, verde, azul, y y otros cinco matices intermedios: amarillo-rojo, verde-amarillo, azul-verde, púrpura-azul y rojo-púrpura, contando con diez matices en total, el valor permite identificar la claridad del color y varía de 0 como negro puro a 10 como blanco puro y la intensidad es el grado de un color a partir del color neutro, los colores de baja intensidad a veces son llamados débiles, mientras que los de alta intensidad son llamados vívidos (Ramón, Gisbert, Manuel, & Asensio, 2009)

### 2.4.3 Densidad (Aparente y Real)

#### ⇒ **Densidad real (ASTM D854-58)**

Para determinar la densidad real se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

- Se pesaron 10 gr de suelo y se vertieron en un matrazde de 25 mL seco.
- Se añadió tolueno con la bureta, procurando que todo el suelo se mojara.
- Se rellenó con la bureta hasta el enrase y se anotó el volumen del tolueno, V.
- El volumen ocupado por el suelo se calculo con la formula  $(25' - V)$ .
- Se calcula la densidad real con la fórmula.

$$Dr = P / (25 - V)$$

#### ⇒ **Densidad aparente (Método del terrón)**

Para determinar la densidad aparente se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

- Se enrasó el cilindro con Hg.
- Se pesó el agregado del suelo (P).
- Se introdujo el agregado en el cilindro (desplazo el Hg).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



- Se pesó el Hg desplazado (P')
- Se dividió el P' por la densidad del Hg (13,5), de esta manera se obtuvo el volumen del agregado (V).
- Se determinó la densidad aparente con la fórmula.
- $D_a = P / V$



## Porosidad

Para determinar la porosidad se utilizó la  $D_a$  y  $D_r$  a partir de la siguiente fórmula.

$$\%P = (1 - D_a / D_r) * 100$$

### 2.4.4 pH (ASTM D 4972).

El método potenciométrico relación suelo-agua en 1:1:

- Con una medida volumétrica se toma una muestra de suelo seco a al aire y se vierte en un beaker de 50 ml
- Con la misma medida se toma una cantidad de agua destilada y se vierte sobre la muestra de suelo.
- Se Agita la mezcla intermitentemente por espacio de 5 a 10 min.
- Se coloca el potenciómetro, previamente calibrado, y se lee el pH, cuando éste se estabilice.

### 2.4.5 Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC USDA SSL, 1996).

Para determinar la Capacidad de Intercambio Catiónico, se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

- Se pesaron 5 gramos de suelo seco y tamizado en malla N°. 40 y se fueron dispuestos en vasos de precipitados de 250 mL.
- Se agregan 25 mL de Acetato de amonio 1N a pH 7 a cada muestra y se agitan durante 30 minutos.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Se filtra el conjunto anterior haciendo pequeños lavados con acetato de amonio; el exceso de amonio se lava con 50 mL de alcohol etílico, aplicando 5 porciones de 10 mL cada una al suelo; los filtrados que se producen en esta etapa se desechan.
- Se lava nuevamente el suelo con 5 porciones de 10 mL de NaCl al 10% y se recoge el filtrado.
- Se le agregan al filtrado 10 mL de formol del 40% y unas gotas de fenolftaleína y paralelamente, se prepara un blanco con 50 mL de NaCl al 10% y formol al 40%.
- Se titulan tanto el filtrado como el blanco con NaOH 0.1 N, hasta obtener una coloración rosada pálida.
- Se calcula la CIC del suelo con la fórmula

$$CIC^{meq} / 100g\ S = \frac{(V_{ge\ NaOH} - V_{gb\ NaOH}) * N * (100 + W)}{P_s} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde,

V<sub>ge</sub> NaOH: es el volumen NaOH gastado en el filtrado

V<sub>gb</sub> NaOH: es el volumen de NaOH gastado en el Blanco

N: es la Normalidad del NaOH

W: constante de humedad gravimétrica

PS: peso muestra

#### **2.4.6 Contenido de materia orgánica del suelo (Método de Walkley Black – ASTM F 1647 - 11).**

Para la cuantificación de la materia orgánica, se llevó a cabo el procedimiento planteado por Walkley and Black:

- Se pesa 0.5 a 1 gramo de suelo (previamente triturado) y se pone en un vaso de precipitado.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Se añaden 10 ml de extracto de solución de dicromato de potasio y se agita con cuidado.
- Se añaden 10 ml de ácido sulfúrico concentrado y se agita suavemente.
- Se deja reposar 25 minutos aproximadamente.
- Se diluye con 100 ml de agua destilada fría y se añaden 5 ml de ácido fosfórico al 85%
- Se deja reposar hasta alcanzar la temperatura ambiente.
- Simultáneamente se realiza un blanco con todos los reactivos sin muestra de suelo.
- Se añade 0,5 mL de difenilamina 0,1N como indicador.
- Se titula con sal de Möhr 0,5 M.
- La muestra preparada para la titulación se muestra de color café oscuro o verde pardo (iones cromo 6+) con la adición del indicador queda de color casi negro.
- Cuando comienza la titulación ese tono casi negro, pasa a azul violáceo muy intenso próximo al punto de equivalencia y finalmente a verde brillante cuando éste se ha alcanzado. Ahí se para la adición de sal de Möhr y se toman los mL gastados en la titulación.

### **3 RESULTADOS Y DISCUSIONES**

#### **3.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA**

Para el análisis de la información, se elaboró un resumen y se compiló en la Tabla 3 en donde se tuvieron en cuenta bases de datos acerca de proyectos y publicaciones referentes a la captura del carbono en diferentes tipos de suelos, lo cual nos permitió verificar el avance del tema en diferentes regiones del mundo y precisar algunos puntos planteados en la metodología actual del trabajo.

Zúñiga-Escobar (2013) reporta que los suelos en el PNN Los Nevados tienen amplios horizontes que están altamente diferenciados por la ceniza volcánica característica de los fenómenos volcánicos de la Cordillera Central Colombiana, en los perfiles se alternan con pequeños horizontes correspondientes a suelo orgánico con los depósitos de carbono. Estos suelos denominados Andisoles por sus características derivadas de la ceniza volcánica, presentan unas condiciones físicas, químicas y morfológicas particulares.

Según Correa et al. (2006) en los Andisoles Colombianos, la presencia de materiales no cristalinos y humus, como los propios de este estudio, cuentan con propiedades físicas y químicas particulares como, predominio de carga variable, alta capacidad de retención de agua, baja densidad aparente y formación estable de los agregados del suelo (Shoji et al., 1993).

En cuanto a las características morfológicas, Salazar (2006) presenta que el perfil de estos suelos (andisoles), es uniformemente oscuro o negro, descripción que puede ser verificable en las imágenes presentadas en este trabajo, donde el horizonte A se caracteriza por una fuerte acumulación de amorfos orgánicos y minerales que pueden encontrarse con alta humificación.

En cuanto a las condiciones físicas, Correa et al. (2006), expresa que los andisoles presentan densidades aparentes inferiores a 0,8 g/cc y porosidad muy elevada, además

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

estos suelos frente a sus propiedades químicas proporcionan alta capacidad de cambio catiónico, alto poder buffer, y alto valor de las cargas dependientes del pH.

**Tabla 3. Resumen de publicaciones relacionadas con la captura de carbono en suelos**

Título	Autores	Lugar	Cuantificación	Observaciones
Formas de carbono orgánico en suelos con diferentes usos en el departamento del Magdalena (Colombia)	José Rafael Vázquez-Polo, Felipe Macías-Vázquez, y Juan Carlos Menjivar-Flores	Magdalena, Colombia. Sitios entre 0 y 1000 m.s.n.m		
On the spatial and temporal dependence of CO <sub>2</sub> emission on soil properties in sugarcane (Saccharum spp.) production	Mara Regina Moitinho, Milton Parron Padovan, Alan Rodrigo Panosso, Daniel De Bortoli Teixeira, Antonio Sergio Ferraudo, Newton La Scala Jr.	Mato Grosso, Brasil Central.	Se correlacionó la emisión de CO <sub>2</sub> con el contenido de la materia orgánica, el aire contenido en la porosidad, la disponibilidad de fosforó, la humedad y la relación carbono/nitrogeno	Hicieron análisis estadístico espacial.
Diffuse soil CO <sub>2</sub> flux to assess the reliability of CO <sub>2</sub> storage in the Mazarrón-Gañuelas Tertiary Basin (Spain)	Julio Rodrigo-Naharro, Barbara Nisi, Orlando Vaselli, Matteo Lelli, Raul Saldaña, Carmen Clemente-Jule, Luis Pérez del Villar	Murcia, España	La cantidad de flujo de CO <sub>2</sub>	Miden el flujo de CO <sub>2</sub> que salen de los espacios vacios del suelo.
Captura de CO <sub>2</sub> en un bosque de la Región Chaqueña Semiárida de Argentina: evaluación y consecuencias	Dr. José Baragaño Galán y Dr. Victorio Mariot	Región Chaqueña Semiárida de Argentina	la cantidad de carbono almacenado en reservorios, arbóreo, raíces y árboles muertos	El fin de este estudio es determinar las bases que permitan la aplicación de nuevos proyectos de captura y almacenamiento de co2 para la conservacion en bosques nativos secundarios en la región chaqueña semiarida.
Caracterización de dos lagunas costeras del Pacífico Tropical	Manuel Mojica, Mendoza Amparo	Estado de Guerrero, México	Estimación de los flujos de CO <sub>2</sub> y CH <sub>4</sub> en agua-aire en las lagunas	Se pudo determinar que tres palos tiene una tendencia mayor a ser

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Título	Autores	Lugar	Cuantificación	Observaciones
Mexicano en relación con el contenido de carbono y la captura y emisión de CH <sub>4</sub> Y CO <sub>2</sub>	Martínez Arroyo, María de la Luz Espinosa Fuentes, Óscar Peralta Rosales y Telma Catro Romero		de Chautengo y Tres Palos en Guerrero, México, durante la época de secas y también analiza el papel de esos cuerpos de agua en la emisión o captura de carbono, según sus condiciones ambientales	sumidero de carbono, sin embargo en chautengo se genera un intercambio más equilibrado entre la producción de metano y captura de CO <sub>2</sub>
Potencial de captura y almacenamiento de CO <sub>2</sub> en el valle de Perote. Estudio de caso: Pinus cembroides subsp. orizabensis D.K. Bailey	Nallely Fátima Flores Ramírez, Lilia del Carmen Mendizábal-Hernández, y Juan Alba-Landa	Municipio de Veracruz	El contenido de carbono almacenado en la biomasa aérea.	Se pudo determinar que la Pinus cembroides subsp orizabensis es una especie potencial para suelos marginales dentro del rango de distribución natural de la especie.
Evaluación del CO <sub>2</sub> almacenado en la vegetación del bosque nativo de Santiago del estero (Argentina): Bases para la conservación de bosques en regeneración.	Selva Azucena y Barrionuevo Estela Pan	Santiago del Estero, Argentina	El carbono almacenado en cada uno de los estratos vegetales de un bosque en regeneración.	
Almacenamiento de carbono en el suelo de tres sistemas ganaderos tropicales en explotación con ganado vacuno	Sandra Lok, S. Fraga, Aida Noda y M. García	Municipio San José de las Lajas, provincia Mayabeque,	La cantidad de carbono almacenada en los 3 tipos de suelo a) silvopastoril basado en Panicum maximum y Leucaena leucocephala; b) monocultivo de Panicum maximum y c) asociación de gramíneas con una mezcla de leguminosas rastreras.	Se recomienda utilizar sistemas silvopastoriles y de mezclas de leguminosas rastreras para mejorar el almacenaje de C en el suelo y lograr sistemas de pasturas mejoradas
Entornos Agroambientales: Almacenes Naturales De CO <sub>2</sub> .	Juan Isidro Sánchez Leyva, Danay Sánchez Méndez, Juan Manuel Sánchez Castro, Carlos Wise Thomas, Ana Ida	Agroentornos montaños y del llano del oriente cubano.		

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Título	Autores		Lugar	Cuantificación	Observaciones
	Vilier Cintra, Maylín Sánchez Castro				
Características de los suelos y sus reservas de carbono en la finca la Colmena de la Universidad de Cienfuegos, Cuba	Dr.C. A. HernándezI, Dania VargasII, Dr.C. H. RíosIII, Francy L. MarentesIV		La finca la colmena, Cuba	Se realizó la caracterización de los suelos Pardos mullidos (Feozems) y Fluvisoles, así como la determinación del estado de la fertilidad y las reservas de carbono en ellos	Se pudo concluir que con los resultados obtenidos se puede obtener una política futura de captura y secuestro de carbono a la atmósfera, que resulte beneficiosa en la reducción de CO2 a la atmósfera.
Respiración del suelo según su uso y su relación con algunas formas de carbono en el Departamento del Magdalena, Colombia	José Rafael Vázquez, Felipe Macías y Juan Carlos Menjivar		Magdalena, Colombia.	Ct: carbono total; Cox: carbono oxidable; Cnox: carbono no oxidable; Cp: carbono en la fracción húmica; Cdox: carbono difícilmente oxidable	
Calidad de la materia orgánica bajo diferentes practicas de manejo en un suelo ácido tropical.	Y. Espinoza.		Espino, estado Guarico, Venezuela	Materia orgánica del suelo. Fracciones de C y N y agregados de suelo	Estables y productivos.
Assessment of the impact of anthropic activities on carbon storage in soils of high montane ecosystems in Colombia	Orlando Zúñiga-Escobar, Andrés Uribe V, Alba Marina Torres-González, Ramiro Cuero-Guependo and Julián Andrés Peña-Óspina.		Ecosistemas de alta montaña en Colombia en el Parque Nacional Natural (PNN ) Chingaza y en el Parque Nacional Natural (PNN ) Los Nevados.	Los SOC (contenido de carbono orgánico del suelo)	Los suelos de los ecosistemas de alta montaña que son inalteradas en PNN Chingaza tienen más carbono orgánico que en los de el PNN Los Nevados
Contenidos de carbono orgánico de suelos someros en pinares y abetales de áreas protegidas de México	Gerardo Cruz– Flores, Jorge D. Etchevers–Barra		Nueve áreas naturales protegidas de México con bosques templados.	Los contenidos de carbono orgánico del suelo (COS), biomasa microbiana (Cbm) y coeficientes metabólicos (qCO2).	Análisis de varianza
Niveles de carbono orgánico total en el Suelo de Conservación del Distrito Federal, centro de México	Gilberto Vela Correa, Jorge López Blanco,		El Suelo de Conservación (SC) del Distrito Federal,	El contenido de carbono orgánico total en suelos (COS)	Es importante recalcar la capacidad que tiene el Suelo de Conservación del Distrito Federal

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



Título	Autores	Lugar	Cuantificación	Observaciones
	María de Lourdes Rodríguez Gamiño	suroeste de la Cuenca de México		para ser considerado como un espacio trascendental en cuanto a funcionar como almacén de carbono
Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de las regiones pampeana y extrapampeana argentina	Hernán René Sainz Rozas, Hernán Eduardo Echeverría y Hernán Pablo Angelini	Argentina	Contenido de CO y pH actual	La normalidad de la distribución de los datos de CO y pH fue testeada utilizando la rutina Proc. Univariate del programa Statistical Analysis System (SAS, 1985)
Influencia del método de dispersión del suelo en la calidad de materia orgánica separada por fraccionamiento granulométrico	Cecilia Videla & Paulo C.O. Trivelin	Argentina	Fraccionamiento de la MO y analizar la distribución del C y N	
Contenido de carbono orgánico en el suelo bajo diferentes condiciones forestales: reserva de la biosfera mariposa monarca, México	Silvia Pérez-Ramírez; M. Isabel Ramírez; Pablo F. Jaramillo-López; Francisco Bautista	México	Contenido de carbono orgánico del suelo (COS)	ANOVA de una vía seguido por una prueba de rangos de Tukey
Almacenamiento de carbono orgánico en suelos en sistemas de producción de café (Coffea arabica L.) en el municipio del Líbano, Tolima, Colombia	Jhon Alvarado, Hernán Jair Andrade, Milena Segura	Líbano, Tolima, Colombia	Capacidad de almacenamiento de carbono orgánico de suelos (COS)	Se probó la normalidad de las variables estudiadas, mediante la prueba de Shapiro-Wilks modificada. Los sistemas de producción de café en el municipio del Líbano, Tolima, Colombia, podrían fijar carbono atmosférico en los suelos con la potencial mitigación del cambio climático
Relación entre la materia orgánica del suelo, textura del suelo y tasas de mineralización de carbono y nitrógeno	Francisco J. Matus y Christian R. Maire G.	Chile	Materia orgánica del suelo (MOS). Cantidad de C y N en los suelos.	Análisis de correlación simple
Biomasa fúngica y bacteriana como indicadoras del secuestro de	Magalis Zabala & Yrma Gómez	Uverito, Venezuela	Cantidad de carbono total en el suelo	Resultados fueron analizados mediante ANOVA de dos vías

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Título	Autores	Lugar	Cuantificación	Observaciones
C en suelos de sabanas sustituídos por pinares en Uverito, Venezuela	P. Córdoba, I. Meléndez, J. Navarro-Pedreño, M <sup>a</sup> . B. Almendro & J. Mataix	Parque Natural El Hondo de Elche-Crevillente (España)	Contenido de materia orgánica y cantidad de carbono orgánico	Análisis de la varianza ANOVA
Fraccionamiento químico de carbono orgánico y su relación con la actividad microbiológica, biomasa microbiana y cantidad de ADN en suelos cacaoteros venezolanos	Arnaldo J. Armado M ; Froilán Contreras; Pablo García Lugo	Valencia, Venezuela	la relación de diferentes parámetros de humidificación con la actividad microbiológica	
Evaluación de parámetros de calidad para la determinación de carbono orgánico en suelos	Johnbrynner García Galvis, María Inés Ballesteros González	Mondoñedo (Cundinamarca), Rosario (Antioquia) y Villa de Leyva (Boyacá)	La determinación de carbono orgánico	Al comparar los dos métodos de cuantificación de carbono orgánico se encontró que hay evidencias de errores sistemáticos en el método volumétrico para los niveles alto, medio y bajo de concentración de sacarosa, mientras que por el método colorimétrico la cuantificación fue más exacta
Cuantificación del Contenido de Carbono en una Plantación de Pino Insigne (Pinus radiata) y en Estrato de Páramo de Ozogoché Bajo, Parque Nacional Sangay, Ecuador	Franklin E. Cargua, Marco V. Rodríguez, Celso G. Recalde y Luis M. Vinuesa	Parque Nacional Sangay, Ecuador	contenido de carbono orgánico en biomasa aérea, sotobosque, detritus no vivo, raicillas y suelo, en una plantación de Pinus radiata y en páramo	

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

### 3.2 Toma de muestras



Se tomaron diecisiete (17) muestras de la cuenca alta del Río Claro, perteneciente al Parque Natural Nacional Los Nevados, las cuales fueron marcadas de acuerdo con la nomenclatura que se presenta en la

Tabla 4, para facilitar el reporte de los datos de las mismas.





La nomenclatura de las muestras, se basó en los 6 niveles (planteados en la metodología), y en tres muestras de cada nivel, conservando el horizonte de ceniza volcánica como el de referencia. Las muestras del primer horizonte, u horizonte Orgánico O y las denominadas A1 y A2, antes y después del horizonte de ceniza. En la

Tabla 4 se presentan las imágenes de los sitios muestreados con su respectiva denominación.

**Tabla 4. Nomenclatura de muestras a analizar**

Número de muestra	Nomenclatura	Altura (m.s.n.m)	Sitio	Imagen
M1	ON1	2796	El Billar	
M2	A1N1			
M3	A2N1			
M4	ON2	3091	San Antonio 04°53'05.2"N	
M5	CN2		75°25'36.1"W	
M6	ON3	3569	La Fonda 04°51'44.0"N	
M7	A1N3		75°23'39.8"W	

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

M8	A2N3				
M9	ON4				
M10	A1N4	4000	Cisne		
M11	ON5				
M12	A1N5	4420	Nariz del Diablo 04°50'04.8"N		
M13	A2N5		75°21'37.7"W		
M14	ON6				
M15	A1N6	4456	Nacimiento Rio Claro 04°49'58.1"N		
M16	A2N6		75°21'36.1"W		

### 3.4 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Las muestras se secaron al aire durante un periodo de 96 horas aproximadamente, hasta obtener peso constante. En la Ilustración 2 se presentan las fotografías de las muestras durante el proceso de secado, en ellas se puede observar la variación en el color de las mismas.

Una vez secas, las muestras fueron trituradas y almacenadas en bolsas con sello hermético, para realizar los análisis posteriores.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



A



B



C

**Ilustración 2. Muestras en proceso de secado al aire; a) muestras entre 2796 y 3091 m.s.n.m; b) muestras de 3569 y 4000 m.s.n.m; c) muestras de 4220 y 4256**

### **3.5 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

Para la determinación de la textura en cada una de las muestras de suelo, se tomaron los especímenes secos y se pasaron antes de pasarlos por una torre de mallas conformada por tamices número 10, 20, 40, 100 y 200. En la Ilustración 3 se presenta una imagen del laboratorio y la torre de mallas empleadas en la prueba de granulometría por mallas.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



**Ilustración 3. Tamizado de la muestra.**

Para todas las muestras, se encontró una textura arenosa, donde en todos los casos menos del 10% pasó la malla N°. 200. En la Tabla 5 se muestran los resultados obtenidos de la curva granulométrica y en el anexo 1 se presentan todas las gráficas dada por dicha distribución. En la Tabla 6 se presentan las clasificaciones de las texturas de las muestras tomadas, de acuerdo a la distribución del tamaño de partículas.

**Tabla 5. Porcentaje de partículas retenidas en diferentes tamaños de partícula.**

Muestra	Arena muy gruesa	Arena gruesa	Arena media	Arena fina	Arena muy fina
<b>M1</b>	10%	25%	34%	25%	1%
<b>M2</b>	18%	20%	31%	24%	2%
<b>M3</b>	15%	17%	42%	23%	1%
<b>M4</b>	55%	20%	13%	7%	3%
<b>M5</b>	55%	14%	12%	11%	2%
<b>M6</b>	13%	45%	27%	13,2%	0,8%
<b>M7</b>	61%	18%	2%	17,8%	0,2%
<b>M8</b>	62%	16%	11%	7,2%	0,8%
<b>M9</b>	25%	16%	29%	23%	1%
<b>M10</b>	10%	20%	35%	28%	2%
<b>M11</b>	6%	15%	36%	31%	2%
<b>M12</b>	25%	35%	24%	14%	1%

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



<b>M13</b>	2%	38%	28%	23%	5%
<b>M14</b>	13%	27%	33%	23,2%	1,8%
<b>M15</b>	7%	27%	36%	26%	1%
<b>M16</b>	8%	25%	32%	28%	3%
<b>M17</b>	31%	32%	21%	13%	2%

**Tabla 6. Textura de cada una de las muestras.**

Nivel (m.s.n.m)		Textura			
		Horizonte O	Horizonte A1	Ceniza	Horizonte A2
<b>N1</b>	<b>2796</b>	Arena	Arena	Arena	Arena
<b>N2</b>	<b>3091</b>	Arena			
<b>N3</b>	<b>3569</b>	Arena	Arena		Arena
<b>N4</b>	<b>4000</b>	Arena	Arena		Arena
<b>N5</b>	<b>4420</b>	Arena	Arena		Arena
<b>N6</b>	<b>4456</b>	Arena	Arena		Arena

La granulometría del suelo no es solo una medida porcentual del tamaño de las partículas del mismo, si no que presentan un interés especial ya que influye en propiedades como la porosidad, la cual está implicada en la preservación selectiva de la materia orgánica del suelo y en la encapsulación de partículas finas de materia orgánica, reduciendo o previniendo su biodegradación (Jaramillo, 2000).

### 3.6 COLOR

En cuanto al color, las muestras secas, fueron sometidas a comparación con los patrones presentes en la tabla Munsell. Las muestras presentaron tonalidades muy similares y coherentes con lo esperado, en especial para las muestras con alto contenido de materia orgánica tal como se presenta en la Tabla 7 (Jaramillo, 2000).

**Tabla 7. Color de las muestras de suelo**

Nivel (m.s.n.m)		Color			
		Horizonte O	Horizonte A1	Ceniza	Horizonte A2
<b>N1</b>	<b>2796</b>	Light brownish gray (10 yr 6/2)	Brownish yellow (10 yr 6/6)		Very pale Brown (10 yr 8/4)

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

<b>N2</b>	<b>3091</b>	Dark yellowish brown (10 yr 4/4)	Gray (10 yr 6/1)	
<b>N3</b>	<b>3569</b>	Dark Brown (10 yr 3/3)	Light Gray (2.5 yr 7/2)	Yellowish Red (5 yr 5/6)
<b>N4</b>	<b>4000</b>	Very dark grayish Brown (2.5 yr 3/2)	Very dark gray (10 yr 3/1)	Very dark grayish Brown (10 yr 3/2)
<b>N5</b>	<b>4420</b>	Dark Brown or Brown (10 yr 4/3)	Dark yellowish brown (10 yr 4/4)	Dark yellowish brown (10 yr 3/4)
<b>N6</b>	<b>4456</b>	Dark yellowish brown (10 yr 3/4)	Dark yellowish brown (10 yr 2/2)	Dark yellowish brown (10 yr 3/6)

### 3.7 DENSIDAD Y POROSIDAD

Para determinar las densidades y la porosidad de cada muestra, se tomaron especímenes secos al aire y tamizados por malla N° 40. Las densidades se obtuvieron llevando a cabo el procedimiento detallado en la metodología. Los datos obtenidos para la densidad aparente ( $D_a$ ) se presentan en la Tabla 8 y para los de densidad real ( $D_r$ ) en la Tabla 9.

Según Jaramillo (2000), suelos con  $D_r$  inferiores a  $2,65 \text{ gcm}^{-3}$  presentan contenidos de materia orgánica o aluminio silicatos no cristalinos, lo que es coherente con las muestras analizadas en este proyecto, las cuales pertenecen a la categoría de Andisoles, (excepto en el caso del valor reportado por el primer horizonte de la muestra en a la altura de 3091 m.s.n.m. la cual presentó altos contenidos de fragmento de roca). Así mismo los valores de  $D_a$  para la mayoría de las muestras están por debajo de  $1.4 \text{ gcm}^{-3}$  lo que es típico de suelos orgánicos y poco deteriorados por compactación (Jaramillo, 2000).

**Tabla 8. Valores de Densidad aparente**

Nivel (m.s.n.m)		Densidad aparente			
		Horizonte O	Horizonte A1	Ceniza	Horizonte A2
<b>N1</b>	<b>2796</b>	1,23	1,22		1,02

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



<b>N2</b>	<b>3091</b>	0,40	-	0,23	-
<b>N3</b>	<b>3569</b>	0,70	1,91	-	1,25
<b>N4</b>	<b>4000</b>	0,67	1,00	-	0,95
<b>N5</b>	<b>4420</b>	0,71	1,04	-	1,01
<b>N6</b>	<b>4456</b>	0,91	1,06	-	0,66

**Tabla 9. Valores de Densidad real**

Nivel (m.s.n.m)		Densidad real			
		Horizonte O	Horizonte A1	Ceniza	Horizonte A2
<b>N1</b>	<b>2796</b>	1,58	1,50	-	1,74
<b>N2</b>	<b>3091</b>	3,34	-	1,83	-
<b>N3</b>	<b>3569</b>	2,52	2,29	-	2,07
<b>N4</b>	<b>4000</b>	1,69	1,61	-	1,51
<b>N5</b>	<b>4420</b>	1,72	2,29	-	1,70
<b>N6</b>	<b>4456</b>	2,46	1,38	-	1,15

Según el reporte de granulometría presentado en el anexo 1, los suelos están clasificados como muestras de textura arenosa, lo cual es coherente con los resultados de porosidad, donde en su mayoría son superiores al 35% salvo en las muestras M1, M2, M7 y M16, tal como se muestra en la Tabla 10.

Según Kaurichev (1984), citado por Jaramillo (2000), en el caso de suelos que sustentan vegetación, porosidades por encima del 70% pueden ser catalogadas como excesivas, sin embargo valores entre 50% y 70% son de satisfactorias a excelentes, mientras que por debajo al 40% son muy bajas. Para el caso de las muestras analizadas, la mayoría de los suelos presentan porosidades superiores al 40% lo que es coherente con la textura y la Da encontrada. Así mismo, Rozas et al. (2011), asegura que texturas gruesas en los primeros horizontes, evitan una acumulación del carbono orgánico, lo que podría reflejarse en una acumulación por eluviación hacia horizontes inferiores.

**Tabla 10. Porosidad:**

Nivel (m.s.n.m)		Porosidad			
		Horizonte O	Horizonte A1	Ceniza	Horizonte A2
<b>N1</b>	<b>2796</b>	22,21	18,67	-	41,42
<b>N2</b>	<b>3091</b>	88,11	-	87,25	-

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

<b>N3</b>	<b>3569</b>	72,25	16,37	-	39,68
<b>N4</b>	<b>4000</b>	60,09	37,80	-	37,46
<b>N5</b>	<b>4420</b>	58,67	54,32	-	40,99
<b>N6</b>	<b>4456</b>	63,02	22,91	-	42,44

### 3.8 pH

El pH es uno de los parámetros más importantes en el análisis de los suelos, pues se correlacionan con otras propiedades como la CIC, la actividad biológica, la disponibilidad de nutrientes y los procesos de adsorción – desorción, así mismo, Rozas et al. (2011) aseguran que el pH es un indicador clave de la salud del suelo. En la Ilustración 5 se presenta imágenes de la toma de pH. Ilustración 4. Prueba de pH.

Los suelos pueden ser clasificados a partir de su valor de pH desde suelos neutros con pH entre 6,6 y 7,3, hasta aquellos fuertemente ácidos con pH entre 5,1 y 5,5 y los muy fuertemente ácidos, con pH por debajo de 5,0. En los suelos del presente estudio, se encontraron muestras con pH ácido y moderadamente ácido, tal como se puede observar en la Figura 1. Según Herrón (2001), para los andisoles los pH se encuentran normalmente entre 5,5 y 6,0 lo que se puede corroborar dentro del rango que muestra este trabajo.

Los andisoles presentan una alta resistencia al sufrir cambios en el pH, lo que es de especial interés ya que en los datos reportados por las diferentes muestras, a pesar de encontrarse en un rango de altitudes muy variables, no muestran cambios en los valores de pH que superen las dos unidades, siendo las muestras del horizonte O las de mayor variabilidad poseen, debido en parte al origen y a la cantidad de materia orgánica dispuesta sobre la superficie del suelo. La alta capacidad buffer de los andisoles se debe, según Espinosa (1994) y Jaramillo (2000) a la superficie reactiva de sus coloides en especial los óxidos de hierro que impiden un aumento del pH.

Paternson et al. (1991), atribuyen la acidez de estos suelos a la materia orgánica y a la alta reactividad, así como al área superficial de minerales amorfos y de óxidos microcristalinos que

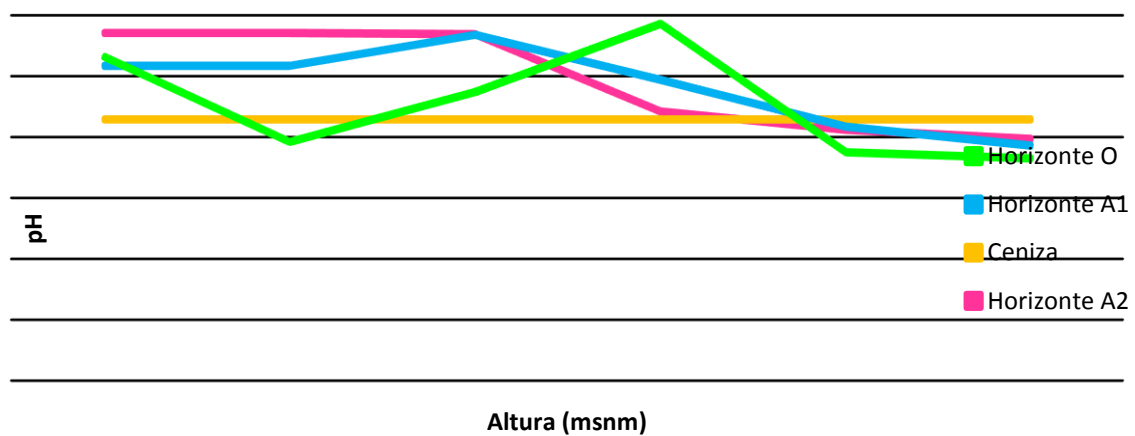
La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

pueden participar activamente con cargas dependientes del pH mediante fenómenos de superficie donde hay liberación de iones  $H^+$  u  $OH^-$ .

Correa et al. (2006) plantea que en los suelos del PNN la acidez oscila desde muy fuertemente ácido en los horizontes superficiales a moderadamente ácidos en los profundos, lo que es coherente con los datos reportados en la Figura 1.



**Ilustración 4. Prueba de pH.**



**Figura 1. pH de las muestras de suelo a diferentes alturas**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

### 3.9 CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO

La CIC de los suelos es un parámetro fundamental que permite establecer la posibilidad de intercambiar los iones presentes en la solución. Según Jaramillo (2000), en los suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia, la carga presente en la CIC es de orden variable predominantemente, debido a los sexquióxidos de Fe y Al en los aluminosilicatos no cristalinos y también debido a la presencia de coloides orgánicos, esto significa que su CIC, es dependiente del pH. Es por esto, que las muestras estudiadas con alto contenido de materia orgánica, cuando el pH tiende a la neutralidad, los valores de la CIC presentan un incremento en su valor.

Según Correa et al. (2006), los andisoles colombianos pertenecientes al PNN, presentan un incremento en la CIC a medida que se profundiza en el perfil del suelo, lo cual es verificable en las muestras realizadas en este trabajo, donde los valores de CIC en los especímenes identificados como A1 y A2, presentan mayores valores que en el primer horizonte

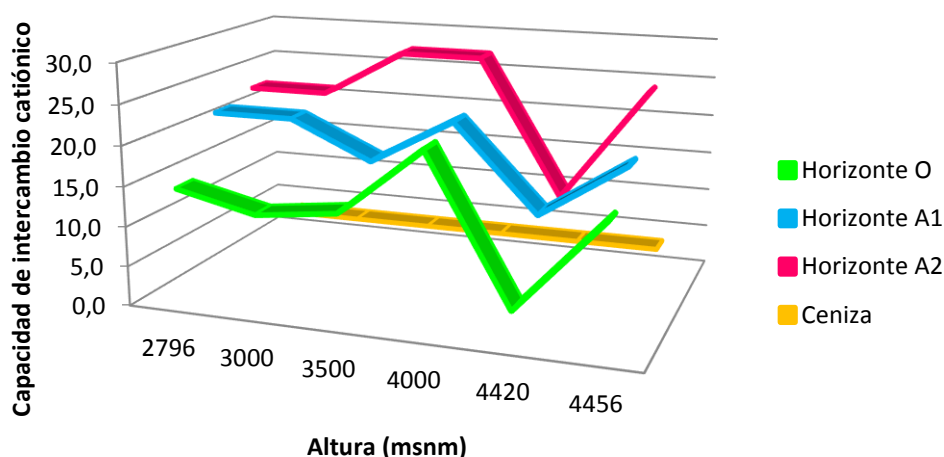


Figura 2. Capacidad de Intercambio Catiónico

### 3.10 CARBONO ORGÁNICO TOTAL Y CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA

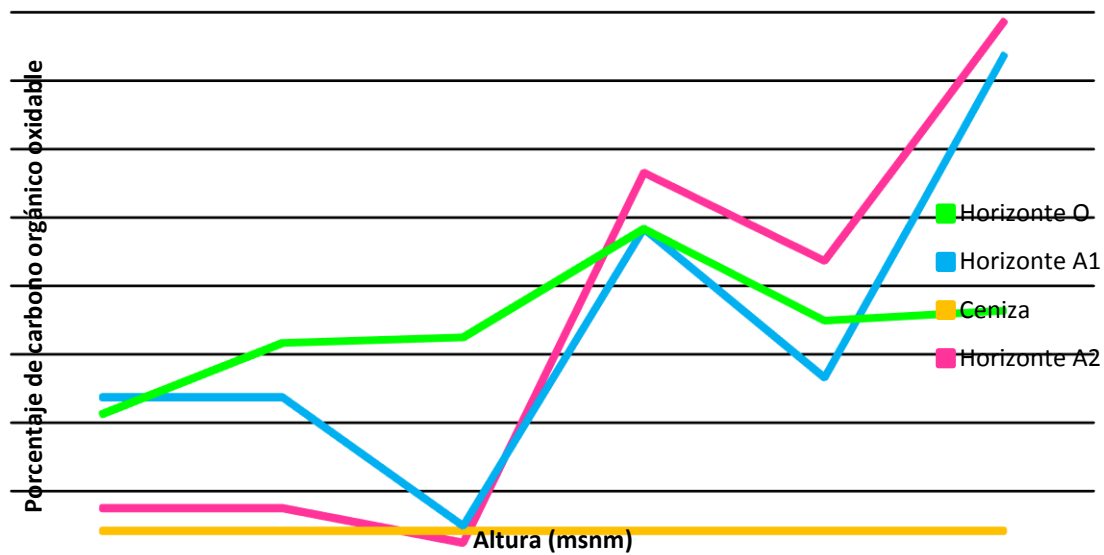
Lal (2005) sostiene que los usos del suelo tienen una incidencia directa sobre la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, es así como algunas prácticas inadecuadas de manejo tales como los

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

monocultivos, la no aplicación de residuos orgánicos, entre otras, tienden a generar pérdidas de la materia orgánica, disminuyendo su capacidad en la captura de carbono.

El carbono acumulado en el perfil, depende del tipo de suelo, su uso, manejo y profundidad. Estos aspectos son determinantes para la existencia y descomposición de la materia orgánica, como fuente primaria del almacenamiento de carbono, como lo reporta Lok et al. (2013), es así como en las muestras de suelo analizadas en el presente estudio, se observa un incremento en el carbono almacenado en los horizontes inferiores, debido posiblemente en parte al escurrimiento y depositación de dicho Carbono Orgánico (CO) en los perfiles denominados A1 y A2.

Los resultados encontrados en cuanto a contenido de carbono orgánico en las muestras a diferentes alturas, concuerda con lo presentado por Lok et al. (2013) que reporta que el comportamiento del carbono en Colombia, tanto en cultivos de pastoreo y silvopastoriles puede contar con valores entre 15 y 25 toneladas de C por hectárea en la profundidad de 5-15 cm y de 13,2 t como promedio en los primeros 10 cm; valores que se encuentran muy por debajo de lo presentado por los suelos muestreados tal como se observa en la Tabla 11, donde se reportan valores entre 15 y 219 tonha<sup>-1</sup>.



**Figura 3. Carbono Orgánico total**

De acuerdo a lo presentado por Polo et al. (2011), Vásquez et al. (2013), Alvarado et al. (2013), los suelos de bosques tienen mayor capacidad de retención de carbono orgánico oxidable con respecto a los cultivos con un porcentaje de 2,25 y 1,55% respectivamente. Sin embargo, en este estudio se comprobó que para los suelos con alturas entre 4000 y 4456 m.s.n.m el C orgánico es mayor en comparación con los bosques y cultivos tal como se puede verificar en la Figura 3.

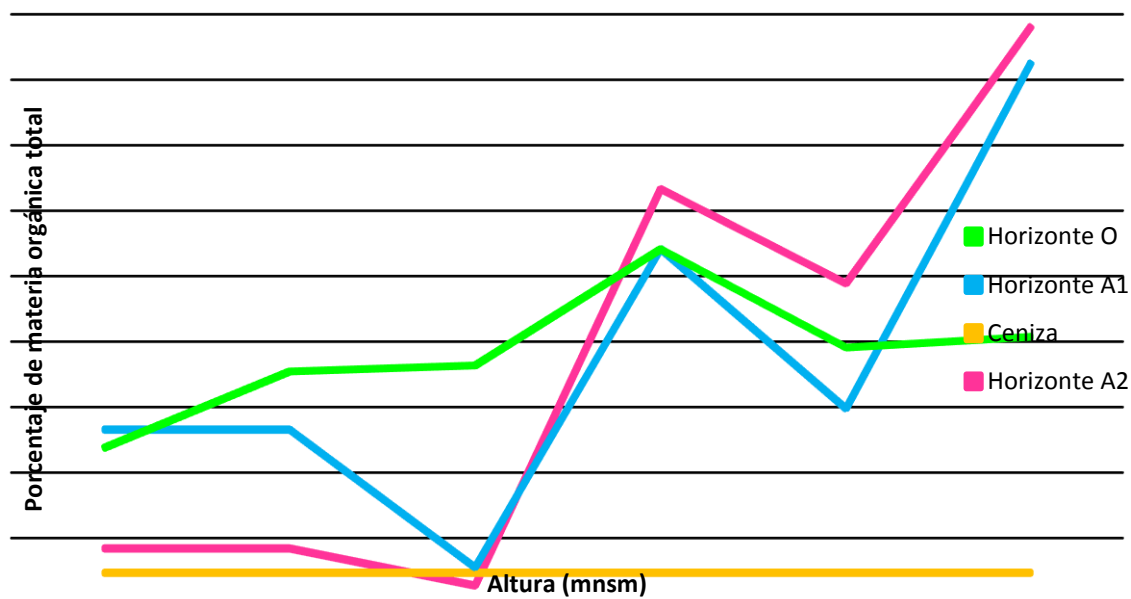
Malagón y Correa (2005), reportan a los andisoles y a los suelos de páramo colombiano como los mayores acumuladores de carbono, con valores promedio de 208 Tonha<sup>-1</sup>, cifras superadas en este estudio, por las muestras ubicadas en altitudes superiores a los 4000 m.s.n.m. Cabe anotar que otros autores como Zúñiga-Escobar (2013) plantean que en suelos Colombianos, el CO almacenado en la selva es aproximadamente de 52 Tonha<sup>-1</sup> (Ibrahim et al., 2007), en la jungla de 75 Ton ha<sup>-1</sup> (Escobar & Toriatti Demattê, 1991) y en los bosques tropicales entre 107 Ton ha<sup>-1</sup> y 181 Tonha<sup>-1</sup> (Amézquita et al., 2006).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

**Tabla 11. Contenido aproximado de Carbono Orgánico en Tonha<sup>-1</sup>**

Nivel (msnm)		Almacenamiento de carbono en los suelos			
		Horizonte O	Horizonte A1	Ceniza	Horizonte A2
N1	2796	130,40	57,92	-	15,35
N2	3091	56,63	-	2,45	-
N3	3569	51,09	28,17	-	45,61
N4	4000	81,27	193,36	-	214,06
N5	4420	18,67	27,74	-	219,24
N6	4456	41,33	58,74	-	130,35

Zúñiga-Escobar (2013) sostiene, de forma acertada que los suelos de los ecosistemas de páramo tienen una mayor capacidad de secuestro de carbono que los bosques de alta montaña en los dos parques nacionales, ya que son de origen volcánico con un alto contenido de materia orgánica, y mantienen la actividad microbiana a bajas temperaturas en el suelo, la descomposición del carbono orgánico a un ritmo menor que en los citados bosques. Esta misma relación de la actividad microbiana, temperatura y carbono orgánico está presente en los estudios realizados por Moretto et al. (2005) y Montagnini y Jordania (2002). Además, el aluminio en la ceniza volcánica y la materia orgánica se combinan para formar vesículas muy resistente a la descomposición por microorganismos (Hofstede et al., 2003).



**Figura 4. Materia Orgánica en %**

En cuanto al contenido de materia orgánica, los suelos derivados de cenizas volcánicas, por ser suelos ácidos con pH entre 3 – 5, baja densidad aparente, carga variable, alta capacidad de retener agua, materia orgánica entre 8 – 40% (Quantin, 1972, citado por Hernández, 2009 ) poseen una alta estabilidad frente a la degradación de la materia orgánica debida a minerales amorfos (alófanos) que se asocian irreversiblemente a la materia orgánica por asociación físico-química (fuerzas de van der Waals o puentes de H) que preservan la materia orgánica de la humificación conocido como preservación selectiva. Otros autores atribuyen la preservación no solo a la protección física de los minerales amorfos si no a la baja actividad microbiana debida a los contenidos Fe y Al, a la acidez y a la altura (Naafs, 2004; Buurman, 2007). En la Tabla 12 se presentan los contenidos de materia orgánica en porcentaje de las muestras estudiadas.

**Tabla 12. Contenidos de materia orgánica**

Nivel (m.s.n.m)	Porcentaje de materia orgánica total			
	Horizonte O	Horizonte A1	Ceniza	Horizonte A2

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



<b>N1</b>	<b>2796</b>	2,38%	2,66%	-	0,84%
<b>N2</b>	<b>3091</b>	3,54%	-	0,47%	-
<b>N3</b>	<b>3569</b>	3,64%	0,55%	-	0,27%
<b>N4</b>	<b>4000</b>	5,41%	5,42%	-	6,33%
<b>N5</b>	<b>4420</b>	3,91%	2,98%	-	4,89%
<b>N6</b>	<b>4456</b>	4,07%	8,26%	-	8,81%

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

## 4. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

1. Los suelos pertenecientes a la cuenca alta del Río Claro, presentaron condiciones físicas y químicas dentro de los estándares encontrados en otras investigaciones donde se reportan suelos de condiciones moderadas a fuertemente acidas, densidades aparentes por debajo de  $1,4 \text{ gcm}^{-3}$ , valores moderados en la CIC, altos contenidos de materia orgánica y altos contenidos de carbono orgánico total almacenado.
2. En los suelos ubicados por encima de 4000 m.s.n.m se encontraron lo mayores valores de carbono orgánico almacenado, teniendo como el máximo reportado  $219,14 \text{ Tonha}^{-1}$ , valor que se encuentra por encima de lo obtenido en andisoles colombianos ( $208 \text{ Tonha}^{-1}$ ).
3. En este estudio se puede corroborar que los suelos de paramos actúan como reservorios de carbono. Es por esto que se deben conservar estos ecosistemas sin alteraciones considerables de orden antrópico para garantizar la permanente acumulación del carbono procedente de la materia orgánica que cae sobre el suelo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Almendros G., Giampaolo S., & Pardo M.T. (2000). Laboratory appraisal of carbon sequestration and nutrient availability after different organic matter inputs in virgin and cultivated Zimbabwean soils *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 32, 877–894.
- Alvarado, J., Andrade, H., & Segura, M. (2013). Almacenamiento de carbono orgánico en suelos en sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) En el municipio del Líbano, Tolima, Colombia. *Colombia Forestal*, 16(1), 21–31. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v16n1/v16n1a02.pdf>
- Amezquita, M.C., B. Van Putten, M. Ibrahim, B.L. Ramírez, H. Giraldo, & M.E. Gómez. 2006. Recovery of degraded pasture areas and c-sequestration in ecosystems of tropical America. *WSEAS Trans. Environ. Develop.* 2(8), 1085-1091.
- Amézquita, M.C. (2008). Captura de carbono en sistemas de pasturas y silvopastoriles en cuatro ecosistemas de América Tropical vulnerables al cambio climático. Foro Nacional Ambiental. Documento de políticas públicas.
- Buurman, P., Peterse, F., Almendros, G. 2007. Soil organic matter chemistry in allophanic soils: A pyrolysis-GC/MS study of a Costa Rican Andosol catena. *Eur. J. Soil Sci.* 58, 1330-1347.
- Cabrera, L., & Hernández, S. (2010). Estudio de páramos en Colombia. Bogotá.
- Castillo, M. (2006). Fotosíntesis en tres poblaciones altitudinales de la planta andina. *Revista Biología Tropical*, 54, 1143–1149.
- Christiansen T.R., & Cox P. (1995) Response of methane emission from arctic tundra to climatic change: results from a model stimulation. *Tellus, Ser. B.* 47 (B): 301- 309
- Dahlgren, R.A., Saigusa, M., & Ugolini, F.C., 2004. The nature, properties and management of volcanic soils. *Advances in Agronomy*, Volume 82, 113–182.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Davet, P. (2004). Microbioecology of the soil and plant growth. Chap. 2. Science Publishers Inc. Endfield, USA.

De Petre, A., Ola Karlin, U., Ali, S., & Reynero, N. (n.d.). Alternativas de sustentabilidad del bosque nativo de Espinal. Buenos Aires: PIARFON. Recuperado de [http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/PBVyAP/File/A3/PIARFON\\_MyE/Captura de carbono.pdf](http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/PBVyAP/File/A3/PIARFON_MyE/Captura_de_carbono.pdf)

Duxbury, J.M. (1995). The significance of greenhouse emissions from soils of tropical agroecosystems. En : Lal, R ; Kimble, J ; Levine, E ; Stewart, B.A. eds. Soil management and greenhouse effect, Levis Publisher. Boca Ratón.FL pp 279-272

Emerson, W.W., R.C. Foster, & J. M. Oades. (1986). Organo-mineral complexes in relation to soil aggregation and structure.

Espinosa, P., Abad, J. & Vaca, R. 1994. Diagnóstico de las limitantes de producción y consumo de las raíces y tubérculos andinos en Ecuador. Quito, Ecuador. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Pág. Irr. (Anexos del informe del proyecto: Biodiversidad de las raíces y tubérculos andinos en Ecuador).

Eswaran, H., Van Den Berg, E., & Reich P. (1993). Organic Carbon in Soils of the World. Soil Science Society of America Journal 57 (1), 192-194 (doi:10.2136/sssaj1993.03615995005700010034x).

FAO. (2002). Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra (p. 83).

Garcia Portilla, J. (2003). Análisis del potencial de emisión de dióxido de carbono del páramo de chingaza y lineamientos para su conservación en el contexto del mecanismo de desarrollo limpio. Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado de <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/eambientales/tesis01.pdf>

García Veléz, L. (2012). Propuesta de una estrategia para la conservación del páramo de Santa Inés. Escuela de Ingeniería de Antioquia.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- González, J. ., Marín, A., Alvarez, C., Díaz, J. ., González, N., & Pardo, A. (2005). Aplicación del protocolo de Kioto. Premio Colección de Estudios Del Consejo Económico Y Social, 444.
- Hayes, M.H.B., & C.E. Clapp. (2001). Humic substances: Considerations of compositions, aspects of structure and environmental influences. *Soil Science* 166:723–73.
- Hayes M.H.B., & Malcolm, R.L. (2001). Considerations of compositions and of aspects of structures of humic substances. In C.E. Clapp, M.H.B. Hayes, N. Senesi, P. Bloom, P.M. Jardine (eds), *Humic Substances and Chemical Contaminants*. Soil Science Society of America, Inc, Madison, Wisconsin.
- Herrón F. (2001). Exprofesor Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. Asesor particular en fertilidad de suelos. Comunicación personal.
- Hofstede, R., Segarra, P., & Vásconez, P. (2003). Los páramos del mundo.pdf.
- Ibrahim M.; Chacón M.; Cuartas C.; Naranjo J; Ponce G.; Vega P.; Casasola F. & Rojas J. (2007). Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Avances de Investigación. Agroforestería en las Américas* n° 45, pp 27-36.
- IDEAM, Ministerio del Medio Ambiente y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. 2002. Páramos y Ecosistemas Alto Andinos de Colombia en condiciones Hot Spot & Global Climatic Tensor. IDEAM – Colombia.
- IPCC, Houghton, J. ., Meira Filho, L. ., Bruce, J., Lee, H., Callander, B. ., ... & Maskell, K. (1994). *Climate Change 1994* (p. 52). Recuperado de [https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/cc1994/climate\\_change\\_1994.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/cc1994/climate_change_1994.pdf)
- Jaramillo, D. (2002). Introducción a la ciencia del suelo.
- Kaurichev, I. S. 1984. *Prácticas de edafología*. 1ª. Ed. en español. Ed. Mir. Moscú. 280 p.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Lal, R. 2005. Los suelos y el cambio climático. Protección del suelo y desarrollo sostenible. Instituto Geológico Minero de España. Serie: Medio Ambiente 6: 163-177.
- Lok, S., Fraga, S., Noda, A., & García, M. (2013). Almacenamiento de carbono en el suelo de tres sistemas ganaderos tropicales en explotación con ganado vacuno. Revista Cubana de Ciencia .... Retrieved from <http://www.ciencia-animal.org/revista-cubana-de-ciencia-agricola/articulos/T47-N1-A2013-P75-S-Lok.pdf>
- Malagon D. y A. Correa. 2005. Los suelos y el cambio climatico global. Caso Colombia. Analisis geograficos. No. 30 (en prensa)
- Mecanismo de información de Páramos. (2010). ¿Qué son los páramos? Recuperado de <http://www.paramo.org/content/¿qué-son-los-páramos>
- Montagnini, F. and C.F. Jordán. 2002. Reciclaje de nutrientes. pp. 167-191. In: Guariguata, M. and Y. Kattan (eds.). Ecología y conservación de bosques neotropicales. Libro Universitario Regional (LUR), San Jose.
- Moretto, A., A. Lazzari, & O. Fernández. 2005. Calidad y cantidad de nutrientes de la hojarasca y su posterior mineralización en bosques primarios y bajo manejo con distintos sistemas de regeneración. Módulo Lenga. PIARFON BAP, Buenos Aires.
- Naafs, D.F.W., 2004. What are humic substances? A molecular approach to the study of organic matter in acid soils. PhD Thesis, University of Utrecht, 162 pp.
- Naciones Unidas. (1992). Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático, 62301.
- Ordoñez J.A.B & Masera O. (2001), Captura de carbono ante el cambio climático, Madera y Bosques, primavera, vol 7, número 001, instituto de Ecologia, Xalapa-Mexico, pp. 12.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Paterson, E., B. A. Goodman, & V. C. Farmer. 1991. The chemistry of aluminum, iron, and manganese oxides in acid soils. In: Ulrich, B., and M. E. Sumner (eds). Soil Acidity. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg, Germany. pp: 97-124.
- Peña, E., Zúñiga, O., & Peña, J. (2011). Accounting the Carbon Storage in Disturbed and Non-Disturbed Tropical Andean Ecosystems.
- Polo, J., Vázquez, F., & Flores, J. (2011). Formas de carbono orgánico en suelos con diferentes usos en el departamento del Magdalena (Colombia). *Acta Agronómica*, 369–379. Retrieved from <http://search.proquest.com/openview/9d7b94751092d352984d08f2b1026571/1?pq-origsite=gscholar>
- Porta, C.J., López – Acevedo, M., & Roquero, C. (2003). *Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente*. Mundi-Prensa, Barcelona.
- Quantin, P., 1972. Les andosols. *Revue bibliographique des connaissances actuelles. Cahiers de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (O.R.S.T.O.M.), Série Pédologie*, 10: 273-301
- Ramírez, C. (2009). *Estructuración del Plan Integral de Manejo del Sistema de Páramos y Bosques Altoandinos del Noroccidente Antioqueño*. Medellín.
- Reyes Bonilla, M. (2010). Páramos en Colombia: Un ecosistema vulnerable. *Medio Ambiente Grupo de Economía Política Y Medio Ambiente*, 1(2145-8006), 1–9. Recuperado de <http://www.usergioarboleda.edu.co/medioambiente/paramos-colombia.pdf>
- Rice J.A., & MacCarthy P. (1988). Comments on the literature of the humin fraction of humus. *Geoderma* 43 65–73.
- Rozas, H. S., Echeverría, H., & Angelini, H. (2011). Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de las regiones pampeana y extrapampeana argentina. *Ciencia Del Suelo*, 29(1), 29–37. Retrieved from <http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-20672011000100004&..>

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Ruiz C.D. (2011). Increased climatic stress on high-Andean ecosystems in the Cordillera Central of Colombia.. Climate change and biodiversity in the Tropical Andes, Edition: 1, Publisher: MacArthur Foundation, Inter-American Institute of Global Change Research (IAI) and Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE), pp.182–191.
- Schnitzer, M. (1978). Soil Organic Matter. Dekker, NY.
- Senesi, N., Loffredo, E. (1999). The chemistry of soil organic matter. p. 242–345. In DL Sparks (ed.) Soil Physical Chemistry. CRC Press, Boca Ratón FL.
- Shoji, S., Dahlgren, R., & Nanzoy, M. 1993. Classification of volcanic ash soils. En: Shoji, S., Nanzoy, M., & Dahlgren, R. (Eds.), Volcanic Ash Soils: Genesis, properties and utilization, Developments in Soil Science, vol. 21. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, The Netherlands, pp. 73-100
- Stevenson, M. (1999). Humus Chemistry. 2ª ed. Academic Press, N.Y.
- Tan, K. (1998). Soil Organic Matter. Academic Press, N.Y.
- Tisdall, J.M. & Oades, J.M. (1982). Organic matter and water-stable aggregates in soils. J. Soil Sci. 33: 141–163.
- Wild, A. (1992) Condiciones del Suelo y el Desarrollo de las Plantas. Omega, Barcelona.
- Zúñiga-Escobar, O. (2013). Assessment of the impact of anthropic activities on carbon storage in soils of high montane ecosystems in Colombia. Agronomía ..., 31(1), 112–119. Retrieved from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-99652013000100014&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-99652013000100014&script=sci_arttext&tlng=en)



## ANEXO 1 Granulometría

### Resultados de la prueba de tamizado

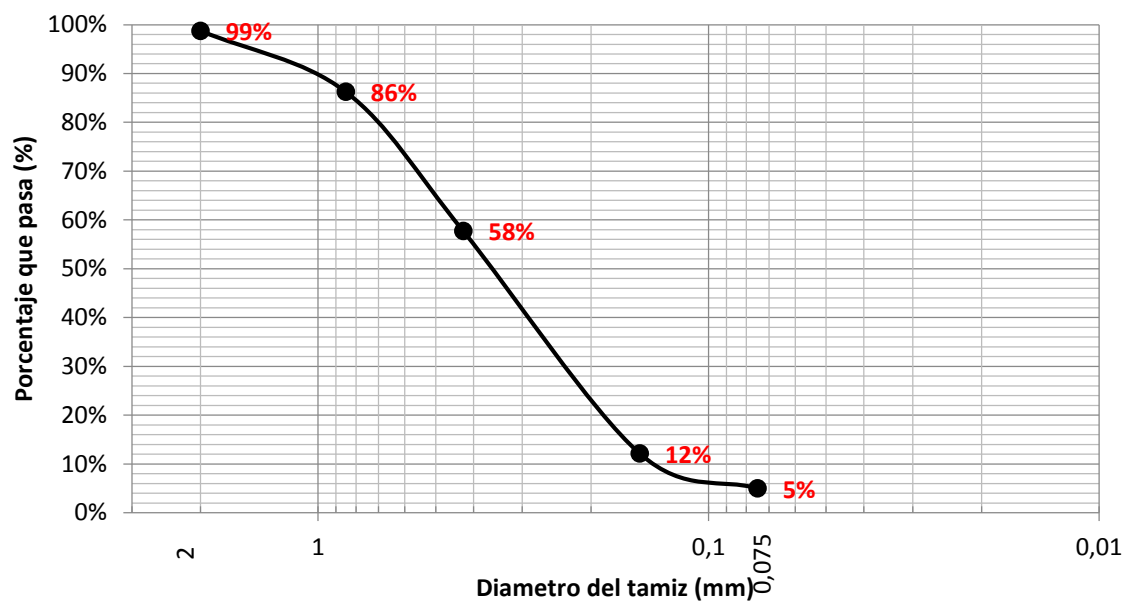
Muestra	Malla 10	Malla 20	Malla 40	Malla 100	Malla 200	Final	Total sin tara
M1	5,4	53,3	122,1	195,1	30,5	21,3	427,7
M2	12,45	59,7	87,6	152,9	28,3	18,3	359,45
M3	15,15	67,1	130,55	182,5	24,7	9,15	429,15
M4	268,1	230,4	179,6	120,9	39,8	23,9	853,5
M5	177,7	105,2	69,4	83,2	37,8	34,1	498,2
M6	90,3	193,5	716,3	415	65,9	24,4	1496,2
M7	553,3	219,6	211,8	178,7	37,9	15,8	1207,9
M8	246,7	120,01	89,2	80,03	24	23,1	573,84
M9	32,4	41	44,8	106,1	15,5	15,5	255,4
M10	6,1	31,4	67	143,3	25	14,7	287,5
M11	2	12	31,5	89,4	17	16,5	168,4
M12	34,6	74,3	117,7	93	20,05	13	343,45
M13	10,04	24	142,3	115,2	49,6	23	354,94
M14	26,2	46,5	111,2	151	33,3	16,5	375,5
M15	17,3	37,7	161,7	245,9	30,08	21,4	504,88
M16	18,6	47	136,7	205,5	59,3	26,3	484,2
M17	56,2	114	143,9	108,5	31,6	14,7	459,7

### Curvas Granulométricas

M1				
Tamiz	Abertura mm	Peso retenido	% Ret. Parcial	% Q. pasa
10	2	5,4	1%	99%
20	0,85	53,5	13%	86%
40	0,425	122,1	29%	58%
100	0,150	195,1	46%	12%
200	0,075	30,5	7%	5%
Fondo		21,3	5%	0%
<b>Total</b>		<b>427,9</b>	<b>100%</b>	

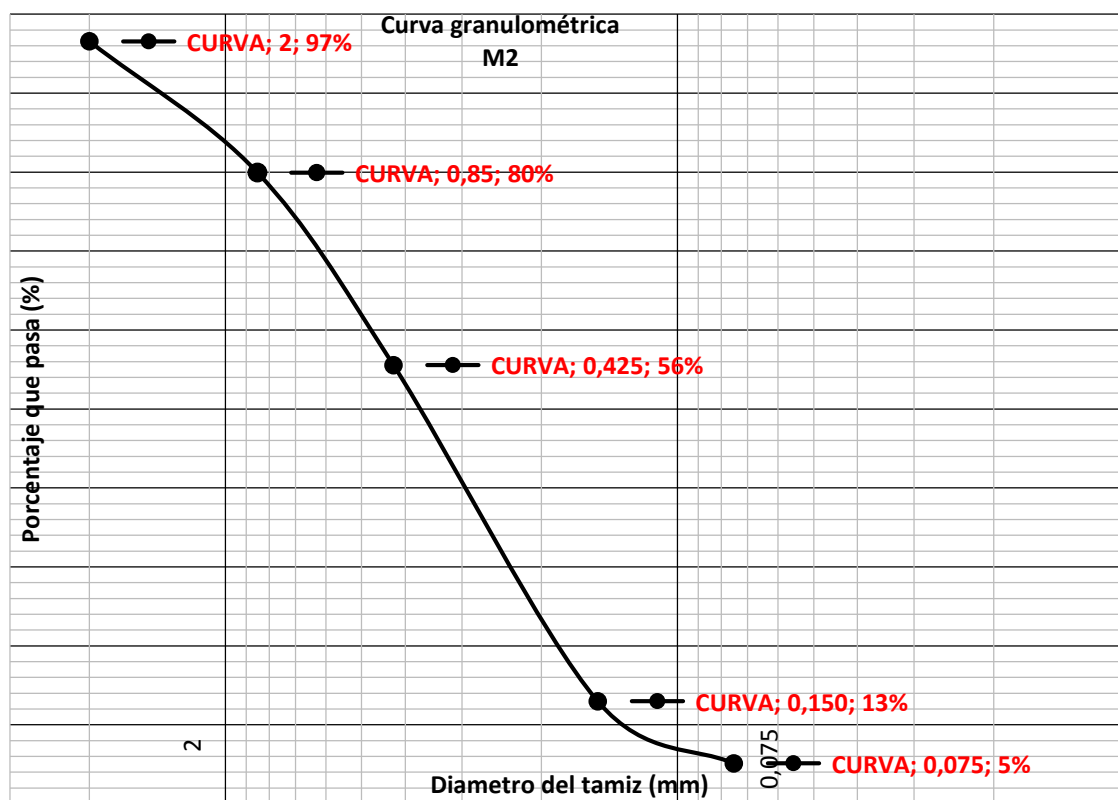
La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

## Curva granulométrica M1



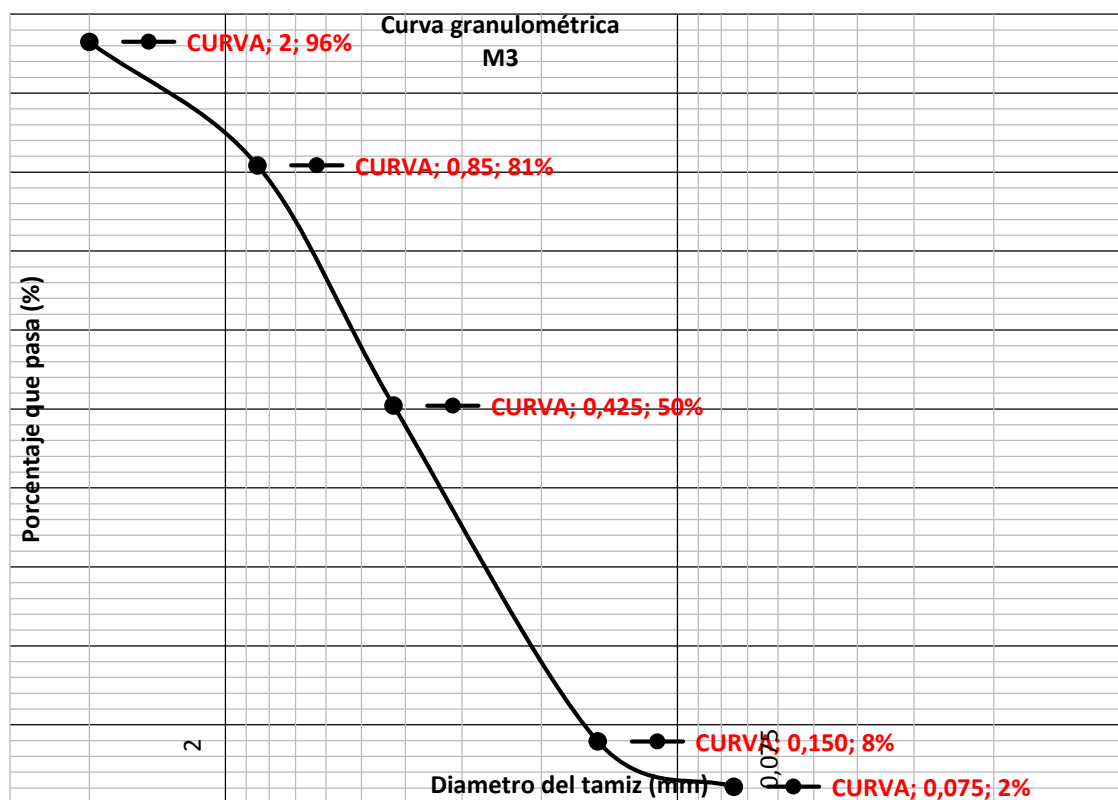
M2				
Tamiz	Abertura mm	Peso retenido	% Ret. Parcial	% Q. pasa
10	2	12,45	3%	97%
20	0,85	59,7	17%	80%
40	0,425	87,6	24%	56%
100	0,150	152,9	43%	13%
200	0,075	28,3	8%	5%
Fondo		18,3	5%	0%
<b>Total</b>		<b>359,25</b>	<b>100%</b>	

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



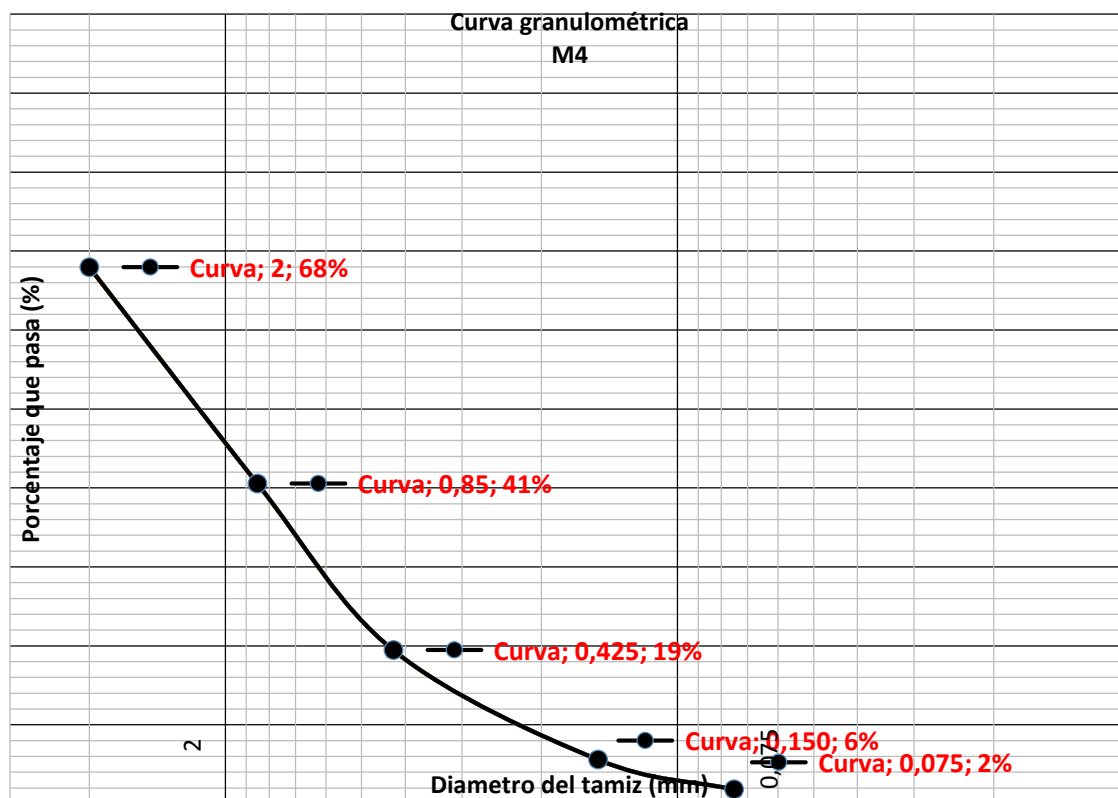
M3					
Tamiz	Abertura mm	Peso retenido	% Ret. Parcial	% Q. pasa	
10	2	15,15	4%	96%	
20	0,85	67,1	16%	81%	
40	0,425	130,55	30%	50%	
100	0,150	182,5	43%	8%	
200	0,075	24,7	6%	2%	
Fondo		9,15	2%	0%	
<b>Total</b>		<b>429,15</b>	<b>100%</b>		

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



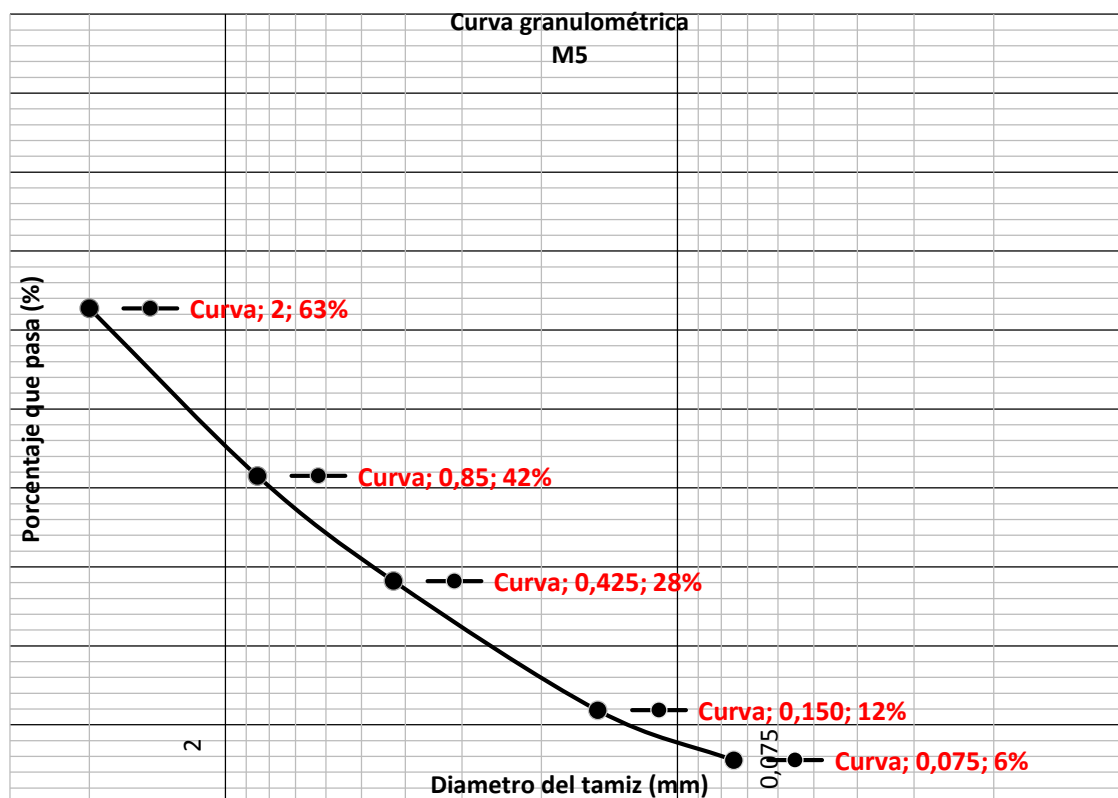
M4				
Tamiz	Abertura mm	Peso retenido	% Ret. Parcial	% Q. pasa
10	2	258,9	32%	68%
20	0,85	221,2		41%
40	0,425	170,4	21%	19%
100	0,150	111,7	14%	6%
200	0,075	30,6	4%	2%
Fondo		14,7	2%	0%
<b>Total</b>		<b>807,5</b>	<b>100%</b>	

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



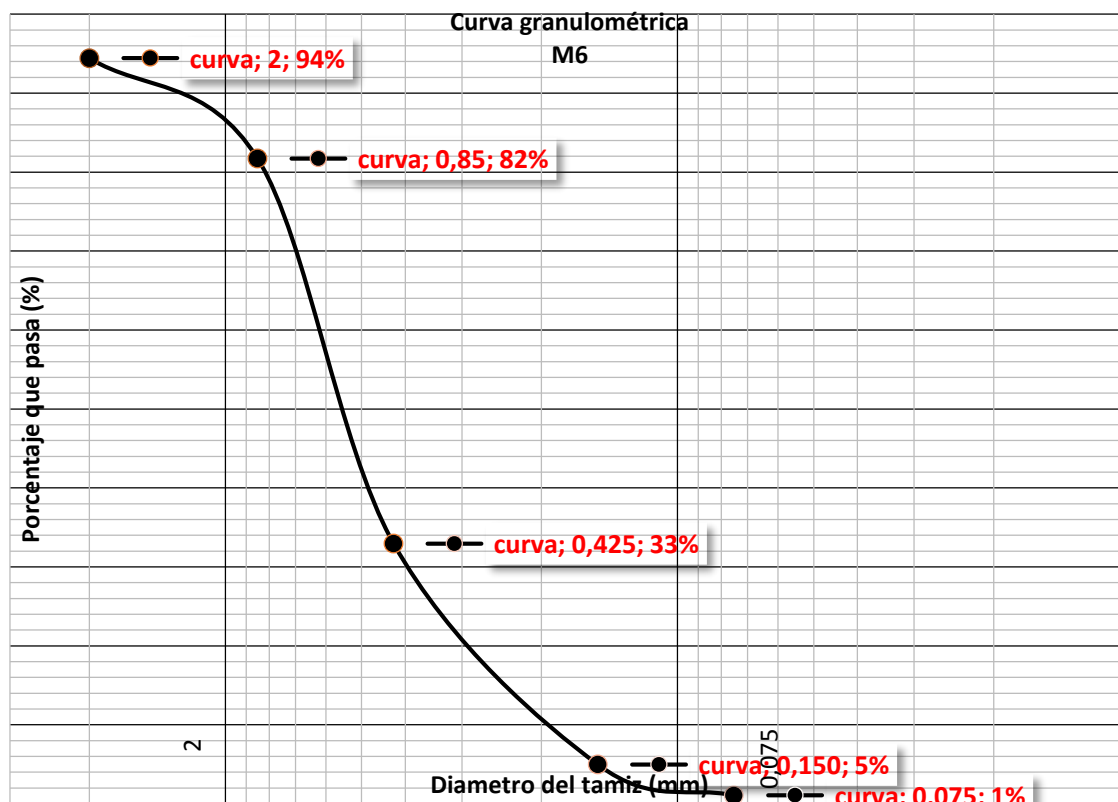
M5					
Tamiz	Abertura mm	Peso retenido	% Ret. Parcial	% Q. pasa	
10	2	168,5	37%	63%	
20	0,85	96	21%	42%	
40	0,425	60,2	13%	28%	
100	0,150	74	16%	12%	
200	0,075	28,6	6%	6%	
Fondo		24,9	6%	0%	
<b>Total</b>		<b>452,2</b>	<b>100%</b>		

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



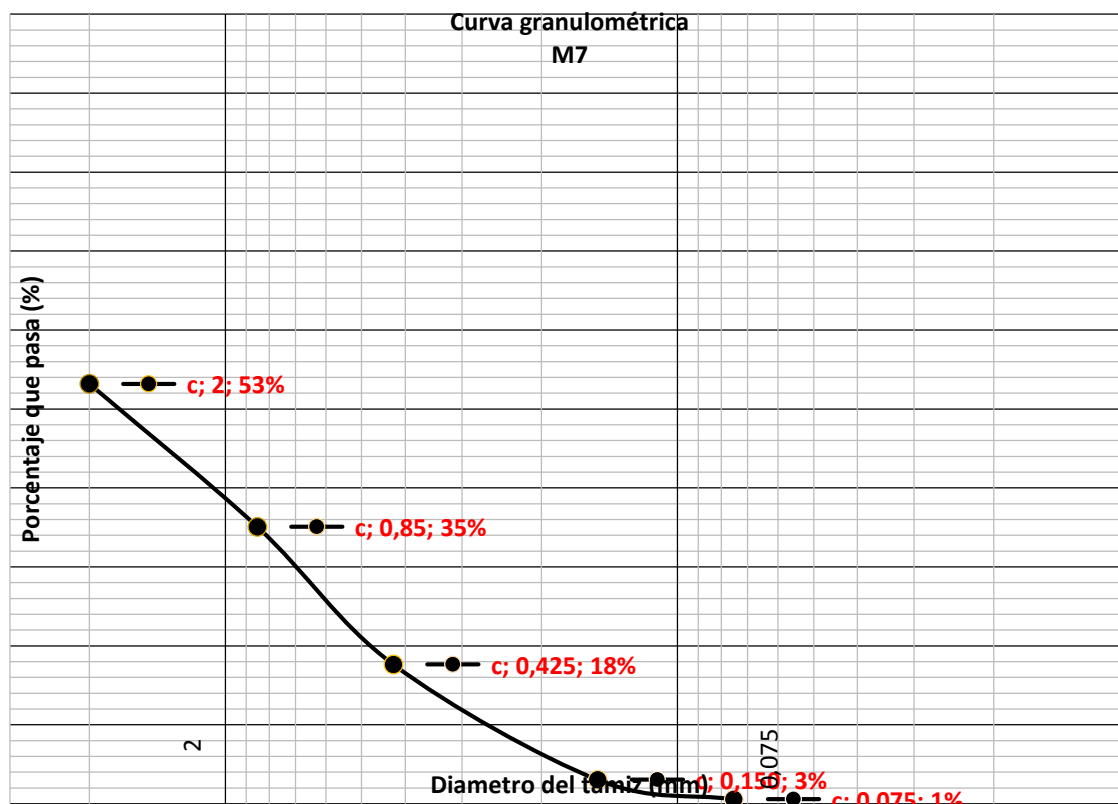
M6					
Tamiz	Abertura mm	Peso retenido	% Ret. Parcial	% Q. pasa	
10	2	81,1	6%	94%	
20	0,85	184,3	13%	82%	
40	0,425	707,1	49%	33%	
100	0,150	405,8	28%	5%	
200	0,075	56,7	4%	1%	
Fondo		15,2	1%	0%	
<b>Total</b>		<b>1450,2</b>	<b>100%</b>		

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



M7					
Tamiz	Abertura mm	Peso retenido	% Ret. Parcial	% Q. pasa	
10	2	544,1	47%	53%	
20	0,85	210,4	18%	35%	
40	0,425	202,6	17%	18%	
100	0,150	169,5	15%	3%	
200	0,075	28,7	2%	1%	
Fondo		6,6	1%	0%	
<b>Total</b>		<b>1161,9</b>	<b>100%</b>		

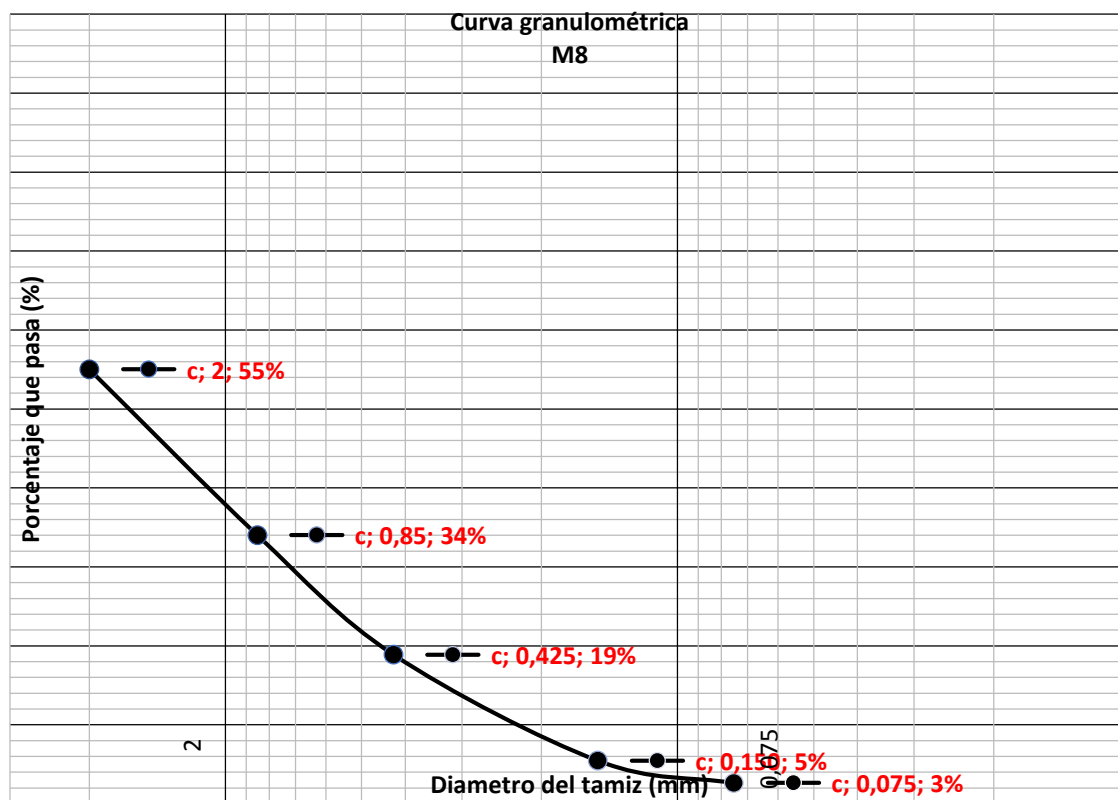
La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



M8				
Tamiz	Abertura mm	Peso retenido	% Ret. Parcial	% Q. pasa
10	2	237,5	45%	55%
20	0,85	110,8	21%	34%
40	0,425	80,0	15%	19%
100	0,150	70,8	13%	5%
200	0,075	14,8	3%	3%
Fondo		13,9	3%	0%
<b>Total</b>		<b>527,8</b>	<b>100%</b>	

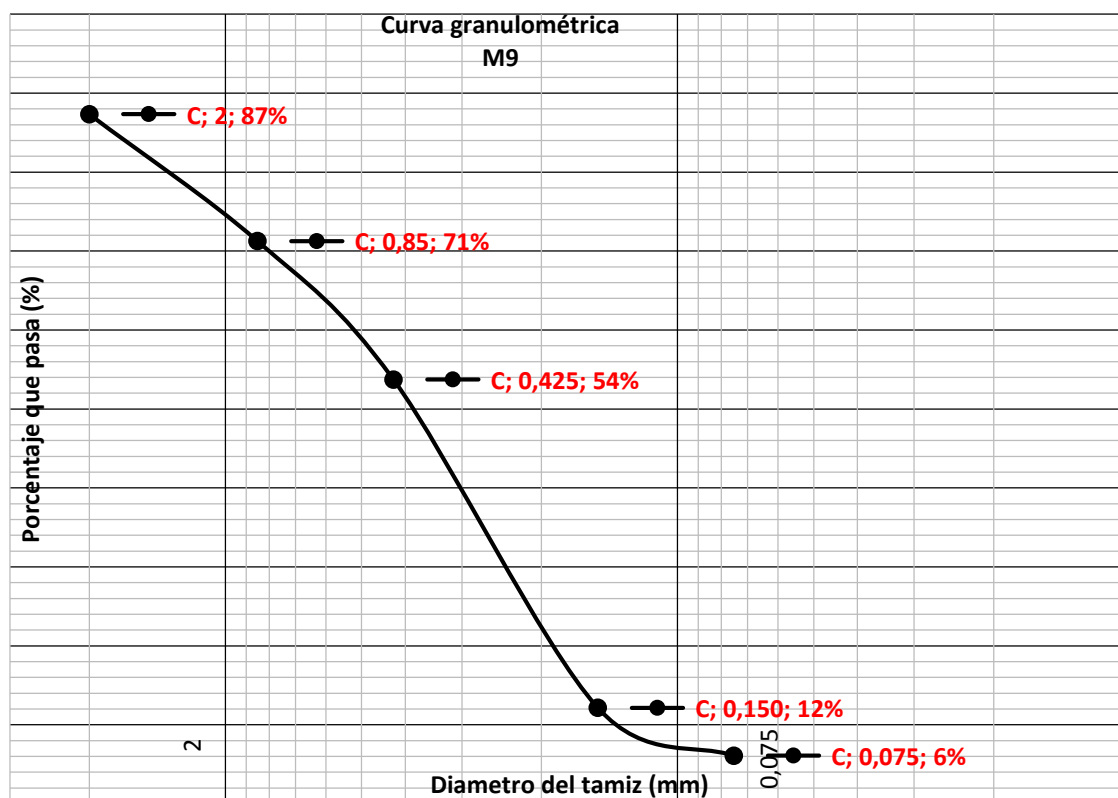
La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.





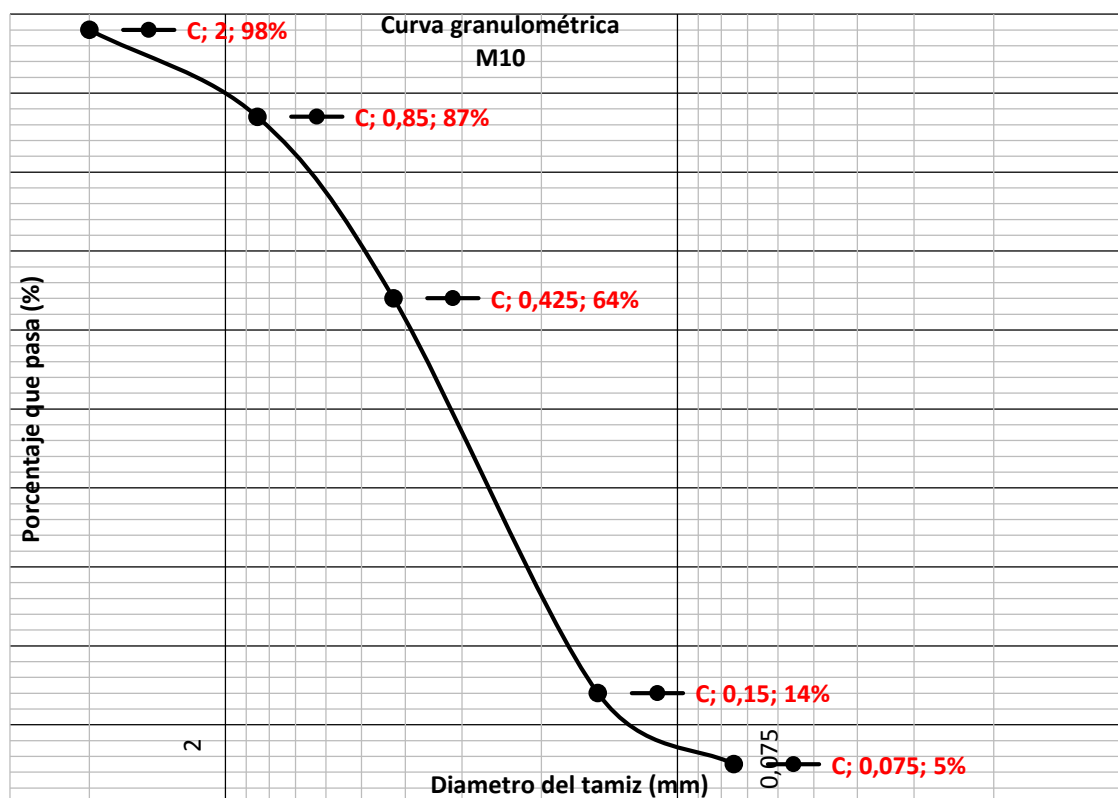
M9				
Tamiz	Abertura mm	Peso retenido	% Ret. Parcial	% Q. pasa
10	2	32,4	13%	87%
20	0,85	41	16%	71%
40	0,425	44,8	18%	54%
100	0,150	106,1	42%	12%
200	0,075	15,5	6%	6%
Fondo		15,5	6%	0%
<b>Total</b>		<b>255,3</b>	<b>100%</b>	

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



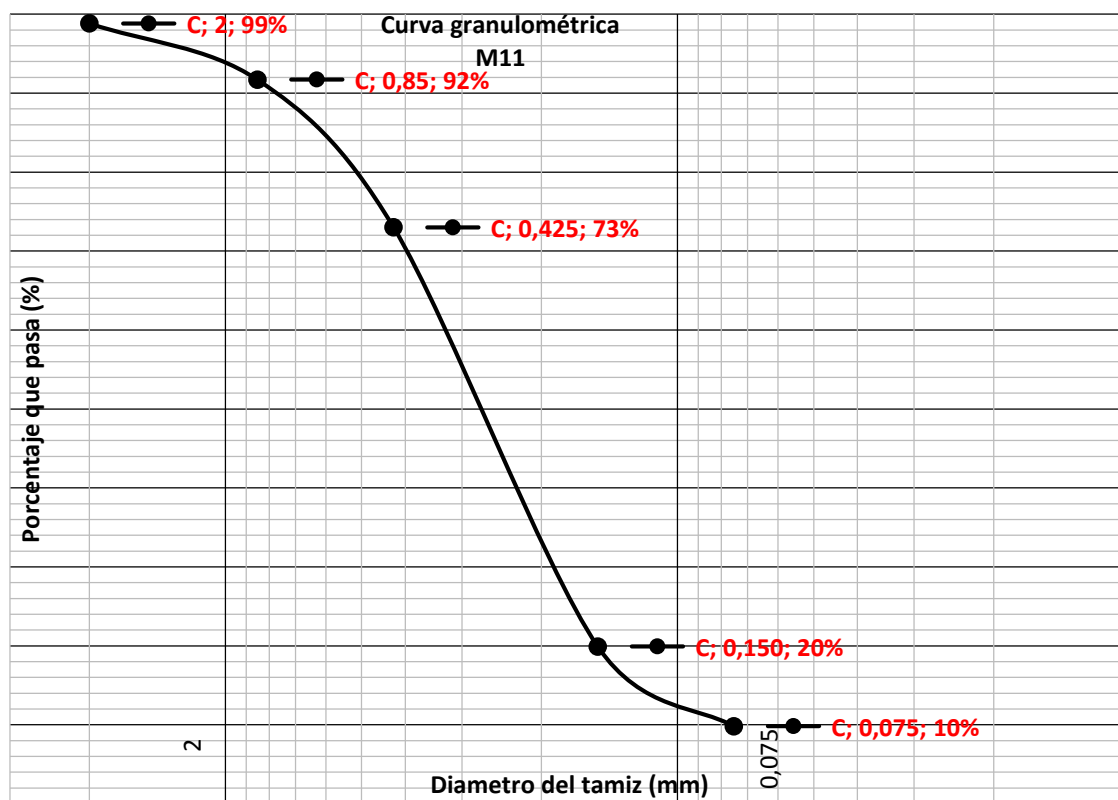
M10					
Tamiz	Abertura mm	Peso retenido	% Ret. Parcial	% Q. pasa	
10	2	6,1	2%	98%	
20	0,85	31,4	11%	87%	
40	0,425	67	23%	64%	
100	0,15	143,3	50%	14%	
200	0,075	25	9%	5%	
Fondo		14,7	5%	0%	
<b>Total</b>		<b>287,5</b>	<b>100%</b>		

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



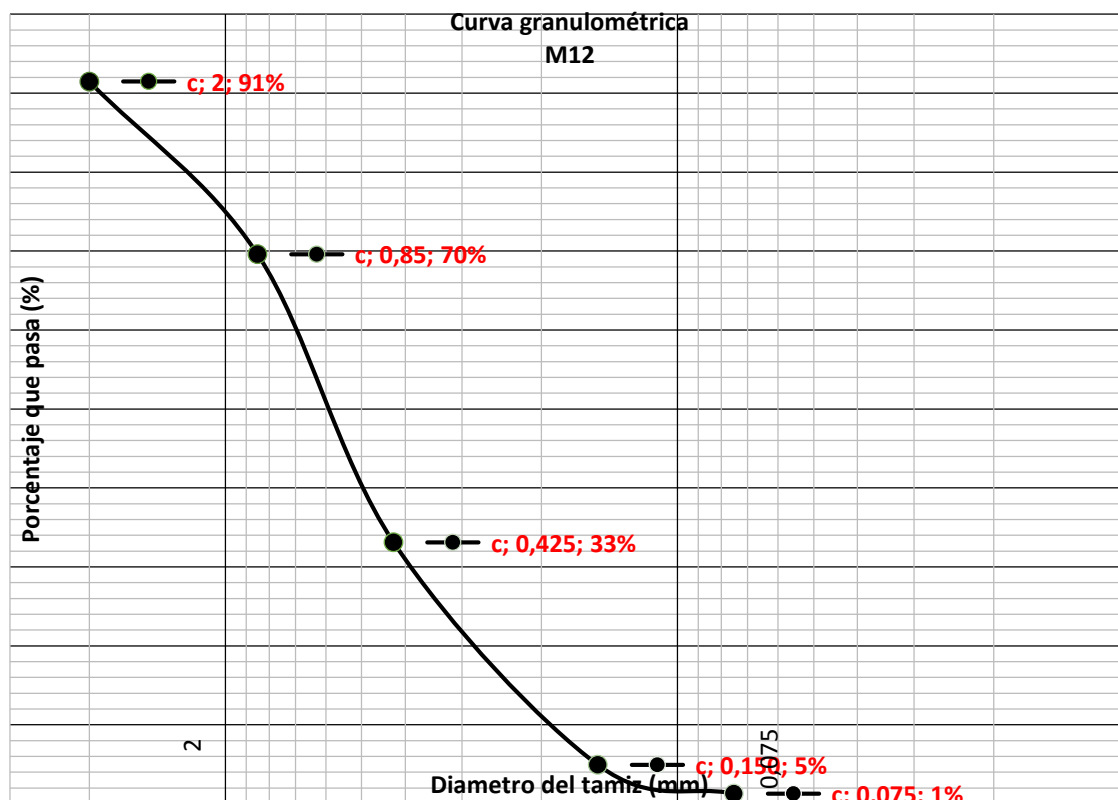
M11					
Tamiz	Abertura mm	Peso retenido	% Ret. Parcial	% Q. pasa	
10	2	2	1%	99%	
20	0,85	12	7%	92%	
40	0,425	31,5	19%	73%	
100	0,150	89,4	53%	20%	
200	0,075	17	10%	10%	
Fondo		16,5	10%	0%	
<b>Total</b>		<b>168,4</b>	<b>100%</b>		

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



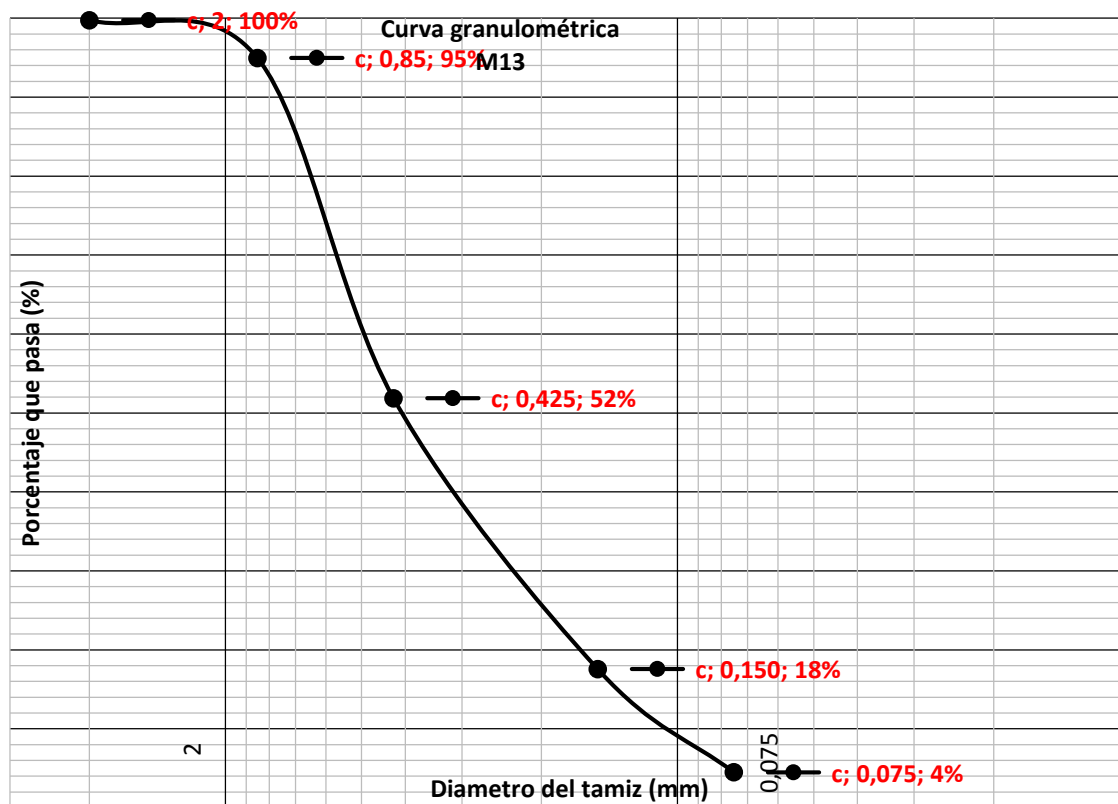
M12					
Tamiz	Abertura mm	Peso retenido	% Ret. Parcial	% Q. pasa	
10	2	25,4	9%	91%	
20	0,85	65,1	22%	70%	
40	0,425	108,5	36%	33%	
100	0,150	83,8	28%	5%	
200	0,075	10,9	4%	1%	
Fondo		3,8	1%	0%	
<b>Total</b>		<b>297,5</b>	<b>100%</b>		

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



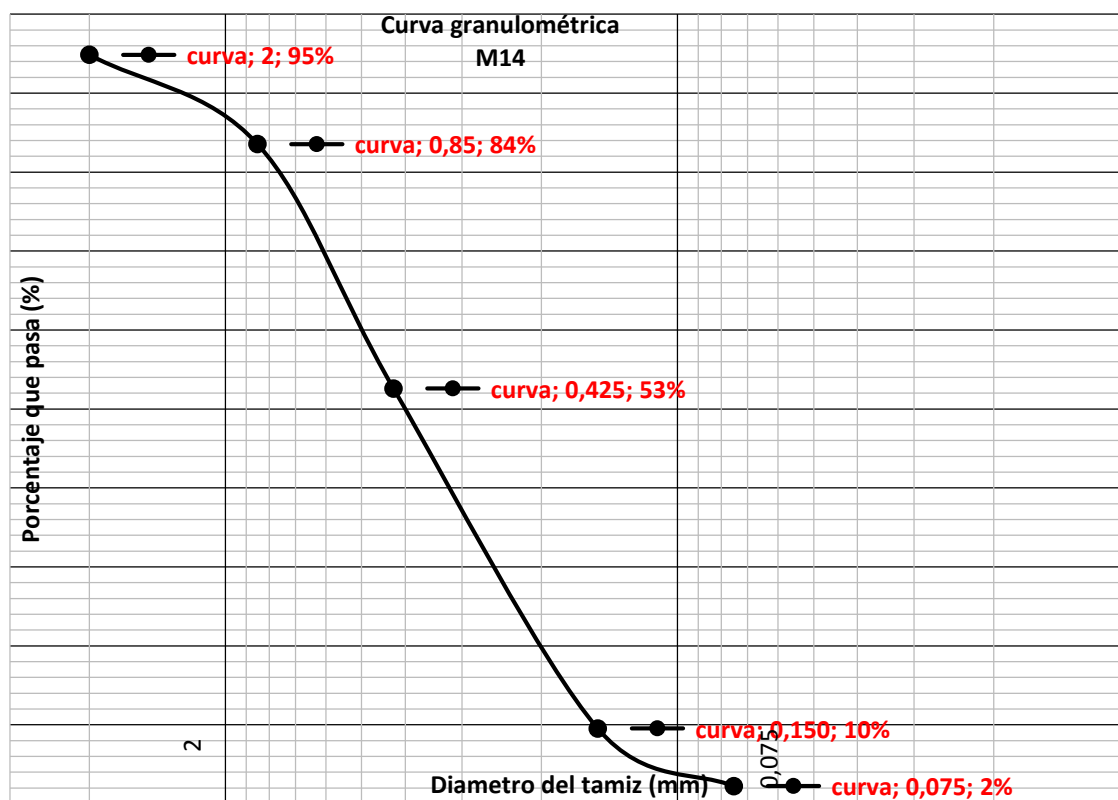
M13					
Tamiz	Abertura mm	Peso retenido	% Ret. Parcial	% Q. pasa	
10	2	0,84	0%	100%	
20	0,85	14,8	5%	95%	
40	0,425	133,1	43%	52%	
100	0,150	106	34%	18%	
200	0,075	40,4	13%	4%	
Fondo		13,8	4%	0%	
<b>Total</b>		<b>308,94</b>	<b>100%</b>		

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



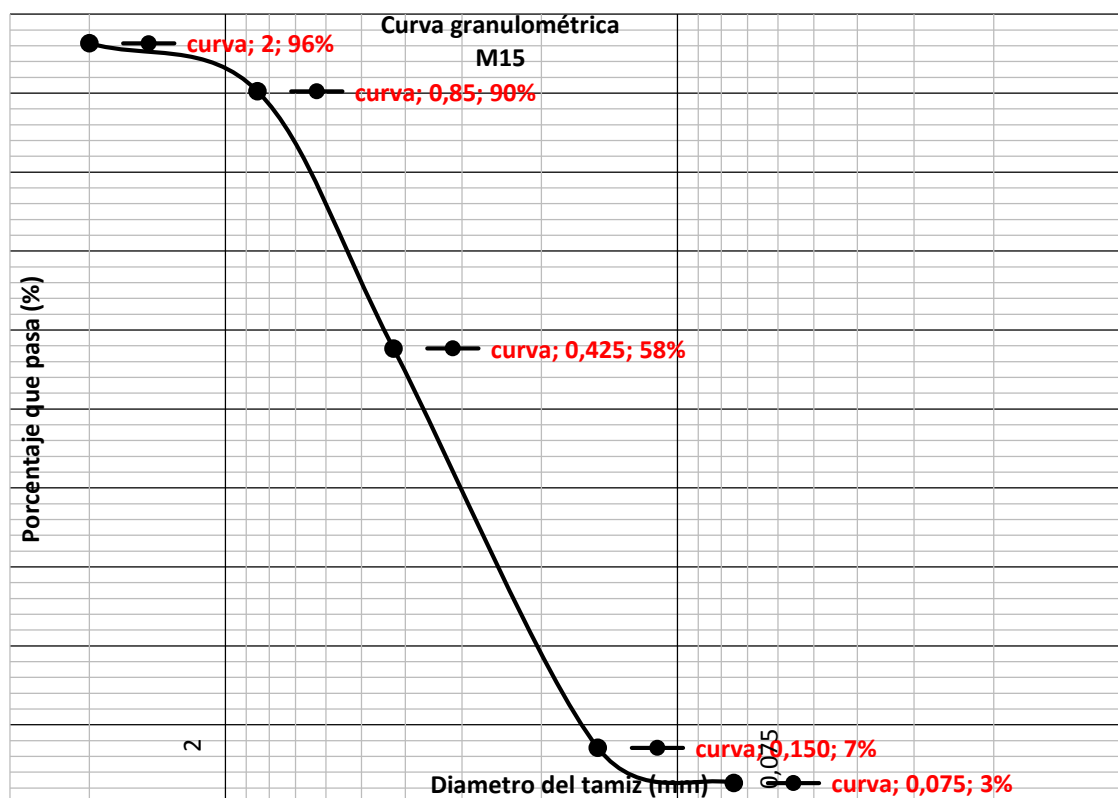
M14					
Tamiz	Abertura mm	Peso retenido	% Ret. Parcial	% Q. pasa	
10	2	17	5%	95%	
20	0,85	37,3	11%	84%	
40	0,425	102	31%	53%	
100	0,150	141,8	43%	10%	
200	0,075	24,1	7%	2%	
Fondo		7,3	2%	0%	
<b>Total</b>		<b>329,5</b>	<b>100%</b>		

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



M15					
Tamiz	Abertura mm	Peso retenido	% Ret. Parcial	% Q. pasa	
10	2	17,3	4%	96%	
20	0,85	28,5	6%	90%	
40	0,425	152,5	33%	58%	
100	0,150	236,7	51%	7%	
200	0,075	20,9	4%	3%	
Fondo		12,2	3%	0%	
<b>Total</b>		<b>468,1</b>	<b>100%</b>		

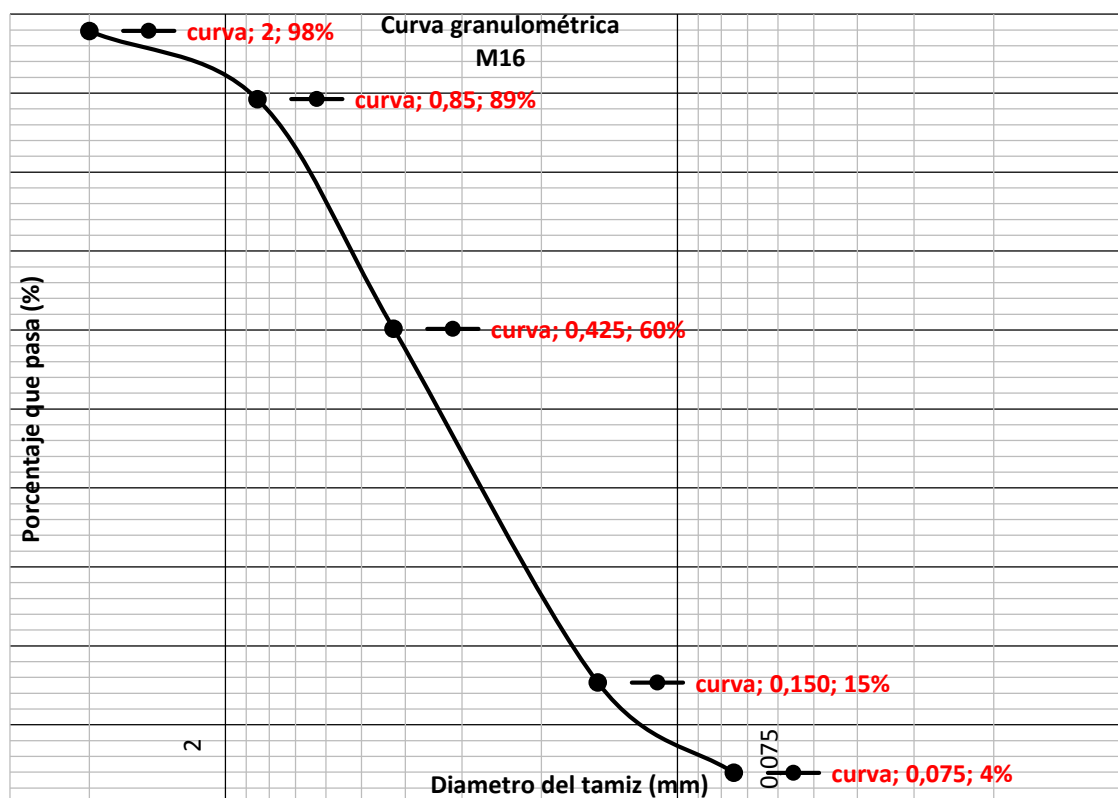
La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



M16					
Tamiz	Abertura mm	Peso retenido	% Ret. Parcial	% Q. pasa	
10	2	9,4	2%	98%	
20	0,85	37,8	9%	89%	
40	0,425	127,5	29%	60%	
100	0,150	196,3	45%	15%	
200	0,075	50,1	11%	4%	
Fondo		17,1	4%	0%	
<b>Total</b>		<b>438,2</b>	<b>100%</b>		

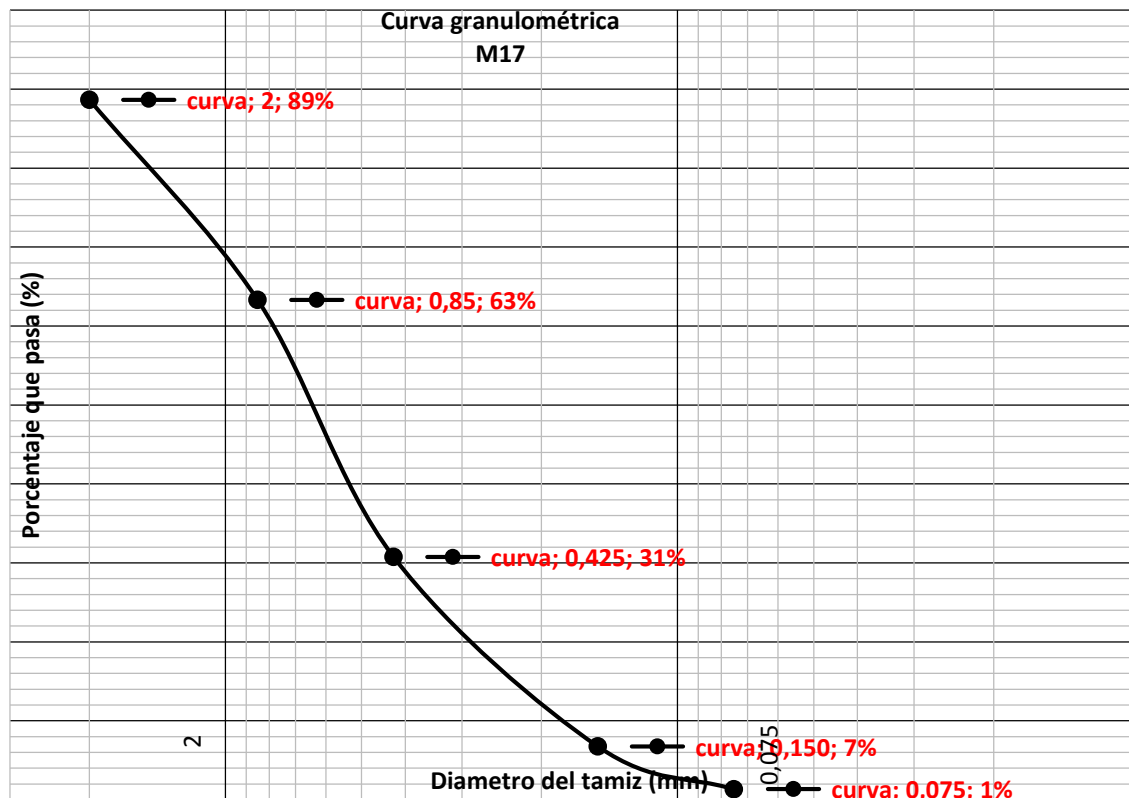
La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.





M17					
Tamiz	Abertura mm	Peso retenido	% Ret. Parcial	% Q. pasa	
10	2	47	11%	89%	
20	0,85	104,8	25%	63%	
40	0,425	134,7	33%	31%	
100	0,150	99,3	24%	7%	
200	0,075	22,4	5%	1%	
Fondo		5,5	1%	0%	
<b>Total</b>		<b>413,7</b>	<b>100%</b>		

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

## ANEXO 2. Colorimetría

Resultados de prueba con tablas de Munsell

Muestra	Referencia	Nombre
M1	10 yr 6/2	Light brownish gray
M2	10 yr 6/6	Brownish yellow
M3	10 yr 8/4	Very pale Brown
M4	10 yr 4/4	Dark yellowish Brown
M5	10 yr 6/1	Gray
M6	10 yr 3/3	Dark Brown
M7	2,5 y 7/2	Ligh Gray
M8	5 yr 5/6	Yellowish Red
M9	2.5 yr 3/2	Very dark grayish Brown
M10	10 yr 3/1	Very dark gray
M11	10 yr 3/2	Very dark grayish Brown
M12	10 yr 4/3	Dark Brown or Brown
M13	10 yr 4/4	Dark yellowish Brown
M14	10 yr 3/4	Dark yellowish Brown
M15	10 yr ¾	Dark yellowish Brown
M16	10 yr 2/2	Dark yellowish Brown
M17	10 yr 3/6	Dark yellowish Brown

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

### ANEXO 3. pH

Resultados de la prueba de pH.

Muestra	Valor 1	Valor 2	Valor 3	Promedio	Desviación estándar	Valor final
M1	6,53	6,28	6,15	6,32	0,2	6,32 ± 0,2
M2	6,46	5,4	6,64	6,17	0,7	6,17 ± 0,7
M3	6,78	6,1	7,26	6,71	0,6	6,71 ± 0,6
M4	4,94	4,92	4,9	4,92	0,02	4,92 ± 0,02
M5	5,31	5,24	5,31	5,29	0,04	5,29 ± 0,04
M6	5,71	5,75	5,77	5,74	0,03	5,74 ± 0,03
M7	6,66	6,68	6,7	6,68	0,02	6,68 ± 0,02
M8	6,7	6,73	6,65	6,69	0,04	6,69 ± 0,04
M9	7,14	6,46	6,99	6,86	0,4	6,86 ± 0,4
M10	6,16	5,71	5,94	5,94	0,2	5,94 ± 0,2
M11	5,44	5,43	5,4	5,42	0,02	5,42 ± 0,02
M12	4,74	4,73	4,79	4,75	0,03	4,75 ± 0,03
M13	5,15	5,19	5,18	5,17	0,02	5,17 ± 0,02
M14	5,12	5,1	5,13	5,12	0,02	5,12 ± 0,02
M15	4,65	4,64	4,66	4,65	0,01	4,65 ± 0,01
M16	4,84	4,87	4,86	4,86	0,02	4,86 ± 0,02
M17	4,99	4,94	4,98	4,97	0,03	4,97 ± 0,03

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

#### ANEXO 4. CIC

Resultados capacidad de intercambio catiónico.

Muestra	Peso inicial	Volumen de NH <sub>4</sub> OAc (ml)	Volumen NaCl Muestra	ml gastados de NaCl blanco	ml gastados de NaOH	CIC
M1	5,0444	25	50	0,3	7,6	14,49
M2	5,0012	25	50	0,3	11,15	21,72
M3	5,0443	25	50	0,3	11,9	23,02
M4	5,0077	25	50	0,3	6,4	12,20
M5	5,0169	25	50	0,3	1,9	3,19
M6	5,0054	25	50	0,3	7	13,40
M7	5,0124	25	50	0,3	8,9	17,18
M8	5,0090	25	50	0,3	14,7	28,78
M9	5,0016	25	50	0,3	11,2	21,82
M10	5,0042	25	50	0,3	11,4	22,21
M11	5,0002	25	50	0,3	11,7	22,83
M12	5,0003	25	50	0,3	2,3	4,00
M13	5,0003	25	50	0,3	6,5	12,41
M14	5,0004	25	50	0,3	6,3	12,01
M15	5,0091	25	50	0,3	8,05	15,49
M16	5,0030	25	50	0,3	9,9	19,21
M17	5,0051	25	50	0,3	13,2	25,80

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

## ANEXO 5. Determinación de la Materia orgánica

### . Determinación de Carbono Orgánico oxidable

Muestra	Porcentaje de carbono orgánico oxidable	Porcentaje de carbono orgánico oxidable	Promedio	Desviación estandar	Total
M1	1,19%	0,93%	1,06%	0,2%	1,06 ± 0,2%
M2	1,22%	1,15%	1,19%	0,1%	1,19 ± 0,1%
M3	0,41%	0,34%	0,38%	0,05%	0,38 ± 0,05%
M4	1,41%	1,76%	1,58%	0,3%	1,58 ± 0,3%
M5	0,31%	0,11%	0,21%	0,1%	0,21 ± 0,1%
M6	1,74%	1,51%	1,62%	0,2%	1,62 ± 0,2%
M7	0,20%	0,29%	0,25%	0,1%	0,25 ± 0,1%
M8	0,06%	0,18%	0,12%	0,1%	0,12 ± 0,1%
M9	2,59%	2,24%	2,42%	0,3%	2,42 ± 0,3%
M10	2,66%	2,18%	2,42%	0,3%	2,42 ± 0,3%
M11	2,99%	2,67%	2,83%	0,2%	2,83 ± 0,2%
M12	1,78%	1,71%	1,75%	0,05%	1,75 ± 0,05%
M13	1,50%	1,16%	1,33%	0,2%	1,33 ± 0,2%
M14	2,27%	2,09%	2,18%	0,1%	2,18 ± 0,1%
M15	1,86%	1,78%	1,82%	0,1%	1,82 ± 0,1%
M16	3,61%	3,77%	3,69%	0,1%	3,69 ± 0,1%
M17	3,98%	3,89%	3,94%	0,1%	3,94 ± 0,1%

### Datos de materia orgánica total (Walkley – Black)

Muestra	Porcentaje de materia orgánica total	Porcentaje de materia orgánica total	Promedio	Desviación estandar	Total
M1	2,66%	2,09%	2,38%	0,4%	2,38 ± 0,4%
M2	2,74%	2,58%	2,66%	0,1%	2,66 ± 0,1%
M3	0,92%	0,77%	0,84%	0,1%	0,84 ± 0,1%
M4	3,15%	3,94%	3,54%	0,6%	3,54 ± 0,6%
M5	0,70%	0,24%	0,47%	0,3%	0,47 ± 0,3%
M6	3,90%	3,38%	3,64%	0,4%	3,64 ± 0,4%
M7	0,45%	0,65%	0,55%	0,1%	0,55 ± 0,1%
M8	0,14%	0,41%	0,27%	0,2%	0,27 ± 0,2%
M9	5,81%	5,02%	5,41%	0,6%	5,41 ± 0,6%

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

M10	5,96%	4,87%	5,42%	0,8%	5,42 ± 0,8%
M11	6,69%	5,97%	6,33%	0,5%	6,33 ± 0,5%
M12	3,98%	3,84%	3,91%	0,1%	3,91 ± 0,1%
M13	3,35%	2,60%	2,98%	0,5%	2,98 ± 0,5%
M14	5,09%	4,69%	4,89%	0,3%	4,89 ± 0,3%
M15	4,17%	3,98%	4,07%	0,1%	4,07 ± 0,1%
M16	8,07%	8,45%	8,26%	0,3%	8,26 ± 0,3%
M17	8,92%	8,71%	8,81%	0,1%	8,81 ± 0,1%

#### Almacenamiento de carbono orgánico en el suelo de páramos

Muestra	Porcentaje de carbono orgánico oxidable	Da	Profundidad	Ton/ha
M1	1,06%	1,23	100	130,40
M2	1,19%	1,22	40	57,92
M3	0,38%	1,02	40	15,35
M4	1,58%	0,40	90	56,63
M5	0,21%	0,23	50	2,45
M6	1,62%	0,70	45	51,09
M7	0,25%	1,91	60	28,17
M8	0,12%	1,25	300	45,61
M9	2,42%	0,67	50	81,27
M10	2,42%	1,00	80	193,36
M11	2,83%	0,95	80	214,06
M12	1,75%	0,71	15	18,67
M13	1,33%	1,04	20	27,74
M14	2,18%	1,00	100	219,24
M15	1,82%	0,91	25	41,33
M16	3,69%	1,06	15	58,74
M17	3,94%	0,66	50	130,35

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.